

Panneaux structuraux massifs bois

Partie 2 : Généralités, conception et dimensionnement

Cahier des Prescriptions Techniques d'exécution

Ce document a été entériné le 24 septembre 2019.

Groupe Spécialisé n° 3

Structures, planchers et autres composants structuraux



Commission chargée de formuler des Avis Techniques
et Documents Techniques d'Application

(arrêté du 21 mars 2012)

Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs-sur-Marne, FR-77447 Marne-la-Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 – Internet : www.ccfat.fr

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition écologique et énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Ndlr : Les Cahiers de prescriptions techniques (CPT) sont des parties intégrantes d'Avis Techniques présentant des dispositions communes. Ces CPT ne sont donc pas des textes à utiliser seuls, mais conjointement avec l'Avis Technique qui y fait référence, et qui peut les compléter ou les amender.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1^{er} juillet 1992 – art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB 2019

Panneaux structuraux massifs bois

Partie 2 : Généralités, conception et dimensionnement

SOMMAIRE

Préambule	3	2. Prescriptions communes	13
Introduction	3	2.1 Propriétés des panneaux structuraux massifs bois	13
1. Généralités.....	3	2.1.1 Propriétés mécaniques du matériau composant les plis	13
1.1 Terminologie, définitions.....	3	2.1.2 Propriétés mécaniques des panneaux CLT	13
1.1.1 Définitions	3	2.1.3 Propriétés mécaniques des panneaux massifs cloués.....	13
1.1.2 Symboles.....	4	2.1.4 Coefficient partiel sur les matériaux γ_M	13
1.2 Classification des types de panneaux structuraux massifs bois visés par le présent document.....	5	2.1.5 Coefficient de modification k_{mod}	14
1.3 Évaluation Technique Européenne	6	2.1.6 Coefficient de déformation k_{def}	14
1.4 Norme NF EN 16351 et Eurocode 5	6	2.1.7 Autres caractéristiques physiques des panneaux	14
1.5 Objet du CPT.....	6	2.2 Conditions d'usage (cl. de service, durabilité, traitement)	14
1.6 Domaine d'application.....	6	2.3 Dispositions spécifiques aux autres composants	14
1.7 Exigences minimales vis-à-vis des panneaux structuraux massifs bois.....	7	2.3.1 Compatibilité des organes métalliques	14
1.7.1 Exigences générales	7	2.3.2 Organes de fixation pour assemblages structuraux	15
1.7.2 Exigences complémentaires	7	2.3.3 Connecteurs métalliques tridimensionnels	15
1.8 Exigences minimales vis-à-vis des plis de panneaux CLT	8	2.3.4 Autres panneaux à base de bois à usage structural	15
1.8.1 Matériaux utilisés	8	2.4 Disposition constructives communes	15
1.8.2 Plis en bois massif ou bois massif abouté	8	2.4.1 Généralités	15
1.8.3 Plis en lamibois ou panneau à base de bois.....	9	2.4.2 Appuis des panneaux structuraux massifs bois ..	16
1.8.4 Plis en autre matériau à base de bois ou essence non listée	9	2.4.3 Assemblage des panneaux entre eux dans un même plan.....	17
1.8.5 Cas particulier des plis de parement	10	2.4.4 Assemblage de panneaux en angle (entre murs, mur-plancher)	18
1.9 Exigences minimales vis-à-vis des plis de panneaux massifs cloués	10	2.4.5 Ouvertures, chevêtres, linteaux.....	21
1.9.1 Matériaux utilisés	10	2.5 Dimensionnement – Dispositions communes à tous les types de panneau.....	21
1.9.2 Plis en bois massif ou bois massif abouté	10	2.5.1 Principe	21
1.9.3 Plis en autre matériau à base de bois ou essence non listée	10	2.5.2 Données.....	22
1.9.4 Cas particulier des plis de parement	11	2.5.3 Charges	23
1.10 Colles.....	11	2.5.4 Réduction des charges contribuant à l'effort tranchant aux appuis	23
1.11 Organes de fixation pour panneau massif cloué.....	11	2.5.5 Facteur d'effet de système k_{sys}	23
1.12 Autres composants (connecteurs, panneaux, fixations, accessoires)	11	2.5.6 Facteur de correction de la résistance au cisaillement du bois k_{cr}	23
1.13 Plans et documents de pose et d'exécution ...	11	2.5.7 Configurations de chargement.....	23
1.14 Références et normes associées.....	12		

2.5.8	Vérifications à l'ELU instantané.....	23	3.3.4	Vérification du cisaillement roulant sous charge concentrée	34
2.5.9	Vérifications à l'ELU final.....	23	3.3.5	Vérifications aux ELS – Flèches	34
2.5.10	Vérifications ELS.....	24	3.3.6	Vérifications aux ELS – Critère vibratoire.....	35
2.5.11	Calcul des déformations.....	24	3.3.7	Conception et dimensionnement des trémies....	36
2.5.12	Déformations cumulées.....	24			
2.6	Dimensionnement – Dispositions communes aux panneaux CLT	25	4.	Dispositions particulières aux ouvrages de mur	38
2.6.1	Calcul de la rigidité efficace des panneaux de type CLT	25	4.1	Application des règles de calcul	38
2.6.2	Vérifications à l'ELU instantané.....	26	4.2	Charges	38
2.6.3	Vérifications à l'ELS du déplacement en tête de mur.....	26	4.3	Dimensionnement des panneaux porteurs verticaux.....	38
2.7	Dimensionnement – Dispositions communes aux panneaux massifs cloués	26	4.3.1	Généralités	38
2.7.1	Calcul de la rigidité efficace des panneaux massifs cloués	26	4.3.2	Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges perpendiculaires à la surface du panneau	38
2.7.2	Vérifications à l'ELU instantané.....	27	4.3.3	Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales.....	38
2.7.3	Vérifications ELS particulières pour les panneaux massifs cloués	28	4.3.4	Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales.....	39
2.8	Conception des assemblages.....	29	4.3.5	Vérifications aux ELS – Flèches	41
2.8.1	Principe	29	4.3.6	Vérifications des linteaux.....	41
2.8.2	Cas des assemblages métal bois.....	29	4.3.7	Distribution des charges concentrées dans les éléments de mur.....	43
2.8.3	Cas des ancrages	29	5.	Dispositions relatives aux ouvrages en panneaux structuraux massifs bois.....	44
2.8.4	Calcul aux ELS.....	29	5.1	Généralités.....	44
2.9	Sécurité vis-à-vis de l'incendie.....	29	5.1.1	Application des règles de calcul.....	44
2.9.1	Réaction au feu	29	5.2	Dispositions relatives au contreventement global.....	44
2.9.2	Résistance au feu.....	29	5.2.1	Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontale	44
2.9.3	Propagation du feu en façade.....	29	5.2.2	Contribution au contreventement de la structure des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales	45
2.10	Isolation Acoustique.....	30	5.3	Dispositions relatives au dimensionnement en zone sismique.....	45
2.10.1	Exigences	30	5.3.1	Mode de calcul.....	45
2.10.2	Évaluation par essais.....	31	5.3.2	Disposition particulières relatives aux panneaux massifs cloués	46
2.10.3	« Exemples de solutions »	31	5.3.3	Exemples de dispositions constructives	47
2.11	Isolation Thermique.....	31	6.	Transport, stockage & manutention	47
2.12	Étanchéité à l'eau – Revêtement de façade.....	31	6.1	Transport	47
2.12.1	Étanchéité à l'eau	31	6.2	Stockage sur chantier.....	47
2.12.2	Revêtement des murs extérieurs au moyen de bardages rapportés	31	6.3	Phase de mise en œuvre	47
2.12.3	Revêtement des murs extérieurs au moyen d'ETICS.....	31	6.3.1	Prévention des accidents et maîtrise des risques lors de la mise en œuvre et de l'entretien	48
2.12.4	Autres revêtements de façade.....	31	6.3.2	Stabilité provisoire	48
3.	Dispositions particulières aux ouvrages de plancher	31	6.3.3	Manutention.....	48
3.1	Application des règles de calcul	31	6.3.4	Dispositions complémentaires relatives au montage	48
3.2	Charges	32	ANNEXE A	Méthodes d'Évaluation Spécifiques.....	49
3.2.1	Charges permanentes et quasi-permanentes	32	ANNEXE B	Contrôle de Production en Usine	50
3.2.2	Cloisons mobiles	32			
3.2.3	Autres charges	32			
3.3	Dimensionnement des panneaux porteurs horizontaux	32			
3.3.1	Généralités	32			
3.3.2	Vérifications aux ELU des contraintes normales, de flexion et de cisaillement.....	33			
3.3.3	Vérification aux ELU de la compression transversale	33			

Préambule

Le Cahier des Prescriptions Techniques (CPT) « Panneaux structuraux massifs bois » est scindé en 2 parties traitant de thématiques principales relevant de Groupes de Travail distincts :

- Partie 1 : Critères généraux de choix des matériaux (partie commune)
- Partie 2 : Généralités, conception et dimensionnement des panneaux structuraux massifs bois

Introduction

Le présent Cahier des Prescriptions Techniques (CPT) « Panneaux structuraux massifs bois – *Partie 2 – Généralités, Conception & Dimensionnement* » a été rédigé par un Groupe de Travail issu du Groupe Spécialisé n° 3 « Structures, planchers et autres composants structuraux » de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques.

Le présent texte, qui regroupe les règles communes de conception, de calcul et de mise en œuvre et utilisation des murs porteurs avec fonction de contreventement et planchers en panneaux structuraux massifs bois, n'est applicable que dans le cadre des Avis Techniques (AT) ou Documents Techniques d'Application (DTA) de ces ouvrages et dans la mesure où ces Avis y font référence et en précisent les conditions d'application.

En outre, les présentes règles communes sont des règles minimales, qui ne préjugent pas de l'évaluation favorables de règles alternatives dans le cadre d'un DTA pour un procédé en particulier.

Le présent texte ne traite pas précisément des procédés de revêtement de sol ou de chape, notamment dans les pièces humides, autrement que sous l'angle structural. Il convient d'étudier au cas par cas les solutions permettant en particulier d'assurer la maîtrise des risques d'infiltration d'eau dans l'ouvrage et la pérennité des ouvrages de second œuvre dans ces locaux, en regard des interactions possibles avec les exigences réglementaires, notamment relative à la sécurité incendie.

Au moment de la rédaction du présent document, en application du Règlement des Produits de Construction (RPC), les panneaux structuraux massifs bois peuvent faire l'objet d'une Évaluation Technique Européenne (ETE) sur la base du Document d'Évaluation Européen (DEE).

Au moment de la rédaction du présent document, la norme EN 16351 a été votée et publiée en tant que NF EN 16351, mais n'est pas publiée au JOUE. En application du RPC, sa publication au JOUE emporterait obligation de marquage CE selon cette norme harmonisée, et par conséquent le probable arrêt des ETE. Par conséquent le présent document tente d'apporter un cadre adapté aux deux situations, en s'appuyant régulièrement sur la NF EN 16351 pour les domaines concernés.

• Note générale de terminologie

De manière générale, le terme « panneau » sans autre précision désignera un panneau structural massif bois couvert par le présent document, ce afin d'en faciliter la lisibilité.

Par exception, le terme « panneau à base de bois » désigne les panneaux couverts par la norme NF EN 13986 (contre-plaqué, panneau de particules, panneau de fibres, OSB).

• Note générale concernant les figures

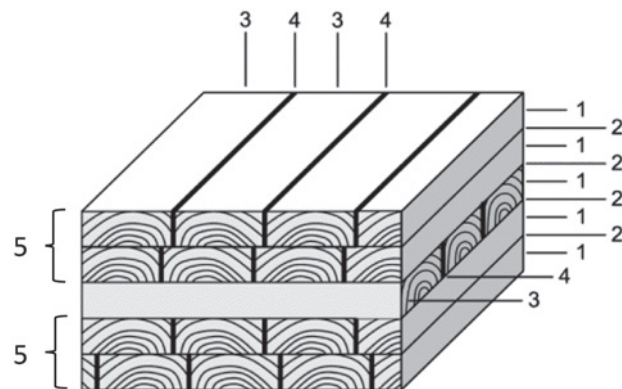
De manière générale, les figures du présent document se concentrent sur l'illustration de détails ou thématiques précis. Par conséquent, il a parfois été fait le choix de ne pas figurer

certain éléments de la structure complète de l'ouvrage, ce dans un but de clarté. L'absence de ces éléments sur les figures ne sous-entend pas qu'ils ne soient pas nécessaires. On se référera dans tous les cas au texte correspondant.

1. Généralités

1.1 Terminologie, définitions

1.1.1 Définitions



Légende : voir définitions numérotées ci-dessous

Figure 1 – Définition de la composition du panneau

Pli (1)

Ensemble de planches en bois massif ou autre matériau à base de bois, de même épaisseur, de même sens de fil, pouvant être collées à chant ou non (adjacentes), non collées entre elles à plat (non superposées).

Plan (ou joint) de collage entre plis (2)

Plan de collage entre plis adjacents collés entre eux à plat (superposés)

Planche (3)

Planches en bois massif ou autre matériau à base de bois formant le composant de base d'un panneau structural massif bois.

Joint (4)

Joint entre planches adjacentes en bois massif ou autre matériau à base de bois non collées entre elles à chant.

Couche (5)

Ensemble de plis superposés et assemblés par collage à plat, dont le fil est orienté dans la même direction.

Note : La définition de « couche » dans la NF EN 16351 correspond à la définition de « pli » ci-dessus. Cette différenciation a été introduite dans le présent document par cohérence avec les DTA existants au moment de sa rédaction.

Dans la suite du document, à l'exception des dispositions portant explicitement sur les couches, une couche sera assimilée à une forme particulière de pli (notamment pour toute disposition relative à l'orientation ou au dimensionnement).

Pli longitudinal

Pli intérieur ou extérieur dont le sens du fil est parallèle à la direction de l'effort concerné ou au sens principal (ou porteur) du panneau structural massif bois.

Pli transversal

Pli intérieur ou extérieur dont le sens du fil est perpendiculaire à la direction de l'effort concerné ou au sens principal (ou porteur) du panneau structural massif bois.

Pli de parement

Pli extérieur réalisé dans une essence différente de celle utilisée pour les plis centraux dans le but de fournir un aspect visuel particulier à la face visible du panneau structural massif bois.

CLT : *cross-laminated timber* (bois lamellé croisé).

Panneau massif structural bois : Panneau massif bois multi plis de grande dimension de type CLT ou panneau massif cloué, tels que définis dans la Partie I du présent CPT.

Panneau CLT : panneau massif bois multi plis de grande dimension. Chaque pli est constitué de planches en bois massif ou autre matériau à base de bois, de même sens de fil, pouvant être collées entre elles sur leur chant ou non. Les plis sont empilés en couches croisées à 90° et collés entre eux sur toute leur surface.

Panneau massif cloué : panneau massif bois multi plis de grande dimension. Chaque pli est constitué de planches en bois massif ou autre matériau à base de bois, de même sens de fil. Les plis sont empilés en couches croisées à 90° et fixés entre eux deux à deux par clouage.

Dimensions

De manière générale, et sauf mention contraire explicite, toutes les dimensions données dans le présent document sont des dimensions nominales (sur plan).

Connecteur : élément d'assemblage métallique usuellement tridimensionnel, permettant d'assembler des éléments de structure en bois entre eux, au moyen d'éléments de fixation (clous, vis, tirefonds, boulons,).

Lisse : pièce longitudinale de faible épaisseur en matériau à base de bois formant l'appui d'une poutre sur un mur (lisse d'appui), l'assise d'un mur à ossature bois (lisse basse) ou le chaînage haut d'un mur à ossature bois (lisse haute).

1.1.2 Symboles

Nomenclature des dimensions :

Sauf indication contraire, les dimensions sont en mm.

B	largeur du panneau
B_u	largeur unitaire du panneau
H	hauteur du panneau
L	portée ou longueur totale du panneau
L_{eff}	longueur efficace du mur contreventant
n	nombre de plis du panneau
$n_{ef,H}$	nombre de plis efficaces (horizontaux) dans la direction de la sollicitation
$n_{ef,V}$	nombre de plis efficaces (verticaux) dans la direction de la sollicitation
n_p	nombre de pointes par plan de croisement des planches d'un panneau massif cloué

$n_{pla,H}$	nombre de planches entières par pli horizontal d'un linteau
t_{xlam}	épaisseur du panneau
t_i	(ou t_{pli}) épaisseur du pli i
t_{min}	somme des épaisseurs de plis transversaux ou des plis longitudinaux, la plus petite des deux valeurs étant à retenir
b_H	largeur des planches horizontales
b_V	largeur des planches verticales
b_{min}	largeur de la planche la moins large par plan de croisement
b_{lin}	largeur (épaisseur) d'un linteau
b_{res}	largeur d'une réservation
b_{ef}	largeur de contact efficace (compression transversale)
l_{ef}	longueur de contact efficace (compression transversale)
l_{res}	longueur d'une réservation
h_{lin}	hauteur d'un linteau
a_i	distance entre l'axe médian d'un pli longitudinal i et le centre de gravité de la section d'un panneau
A_i	(ou A_{pli}) section du pli i
$A_{pla,H}$	section d'une planche horizontale
A_{net}	section nette du panneau (tenant compte uniquement des plis travaillant dans une direction donnée)
A_{ef}	surface de contact efficace (compression transversale)

Principaux indices des propriétés mécaniques :

x	pli dont le fil est orienté dans la même direction que le fil des plis extérieurs du panneau
y	pli dont le fil est orienté perpendiculairement à la direction du fil des plis extérieurs du panneau
i	= x ou y selon l'orientation du fil du pli

(voir Figure 2 pour la définition des orientations)

<i>edge</i>	(ou xy) indique une orientation ou sollicitation dans le plan (à chant)
<i>flat</i>	(ou xz ou yz) indique une orientation ou sollicitation hors plan (à plat)
<i>net</i>	indique une propriété ou sollicitation déterminée sur la section nette du panneau
<i>gross</i>	indique une propriété ou sollicitation déterminée sur la section brute du panneau

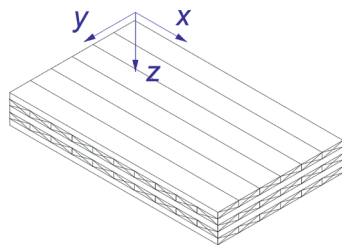
Conformément aux conventions des Eurocodes :

k	indique la valeur caractéristique d'une résistance R ou d'un effort E
d	indique la valeur de calcul d'une propriété R ou d'un effort E , avec :

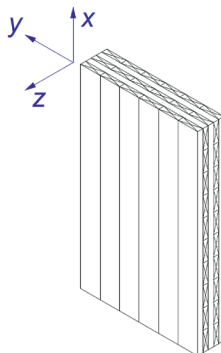
$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} \quad \text{et} \quad E_d = \gamma_F \cdot E_k$$

<i>mean</i>	indique la valeur moyenne d'un module
<i>05</i>	indique le fractile à 5 % d'exclusion d'un module
<i>fin</i>	indique une valeur à l'ELU ou l'ELS final

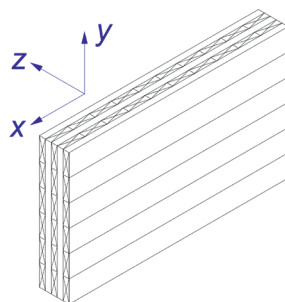
Orientation des panneaux :



Panneau à plat (plancher)



Panneau à chant - Vertical (mur)



Panneau à chant - Horizontal (mur ou linteau)

Figure 2 – Définition des panneaux et de leur orientation

Nomenclature des propriétés mécaniques

Sauf indication contraire, toutes les propriétés mécaniques sont en N/mm² (MPa).

Propriétés d'un pli du panneau d'orientation $i = x$ ou y :

$f_{m,edge,i,k}$	résistance caractéristique à la flexion
$f_{m,flat,i,k}$	résistance caractéristique à la flexion hors plan
$f_{c,0,i,k}$	résistance caractéristique à la compression parallèle (axiale)
$f_{c,90,edge,i,k}$	résistance caractéristique à la compression transversale à chant
$f_{c,90,flat,i,k}$	résistance caractéristique à compression transversale à plat
$f_{t,0,i,k}$	résistance caractéristique à la traction parallèle (axiale)
$f_{t,90,edge,i,k}$	résistance caractéristique à la traction perpendiculaire à chant
$f_{t,90,flat,i,k}$	résistance caractéristique à la traction perpendiculaire à plat
$f_{v,0,i,k}$	résistance caractéristique à la traction parallèle (axiale)

$f_{v,edge,i,k}$	résistance caractéristique au cisaillement longitudinal à chant
$f_{v,flat,i,k}$	résistance caractéristique au cisaillement longitudinal à plat
$f_{r,i,k}$	résistance caractéristique au cisaillement roulant
$E_{edge,i,mean}$	module d'élasticité moyen en flexion à chant
$E_{flat,i,mean}$	module d'élasticité moyen en flexion à plat
$E_{edge,i,05}$	module d'élasticité caractéristique à chant
$E_{flat,i,05}$	module d'élasticité caractéristique à plat
$G_{edge,i,mean}$	module de cisaillement moyen à chant
$G_{flat,i,mean}$	module de cisaillement moyen à plat
$G_{edge,i,05}$	module de cisaillement caractéristique à chant
$G_{flat,i,05}$	module de cisaillement caractéristique à plat
$G_{r,mean,i}$	module de cisaillement roulant moyen du pli dans le plan

Propriétés du panneau (cas du panneau CLT) :

$f_{v,xy,net,k}$	résistance caractéristique au cisaillement dans le plan de la section nette du panneau
$f_{v,xy,gross,k}$	résistance caractéristique au cisaillement dans le plan de la section brute du panneau
$f_{tor,node,k}$	résistance caractéristique au cisaillement de torsion du plan de collage entre plis croisés collés
$G_{xy,mean}$	module de cisaillement moyen du panneau dans le plan
$G_{tor,mean}$	module de cisaillement de torsion moyen du panneau dans le plan
$\rho_{i,k}$	densité caractéristique [kg/m ³]
$\rho_{i,mean}$	densité moyenne [kg/m ³]

1.2 Classification des types de panneaux structuraux massifs bois visés par le présent document

Les panneaux structuraux massifs bois sont fabriqués par assemblage collé ou cloué de planches de bois massif ou autre matériau à base de bois, en alternance de couches croisées à 90° (au sens du fil du bois) selon des recettes variant d'un fabricant à un autre.

Les normes européennes de référence des matériaux à base de bois composant les panneaux sont indiquées ci-après à titre informatif, en effet, la norme de référence applicable à un composant de panneau structural massif bois est stipulée dans l'ETE correspondante ou dans la NF EN 16351, le composant lui-même ne faisant pas l'objet du marquage CE et pouvant donc être conforme à une autre norme.

On distingue notamment les matériaux composants les planches suivantes :

- bois massif selon NF EN 14081 ;
- bois massif selon NF EN 14081 abouté selon NF EN 16351 ou selon la NF EN 15497 en s'assurant que les exigences de la NF EN 16351 soient également respectées¹ ;
- lamibois (LVL) selon NF EN 14374 ;
- panneau à base de bois selon NF EN 13986 ;
- autre matériau dérivé du bois (selon leur ETE ou référentiel spécifique).

1. La NF EN 16351 permet l'utilisation de bois massif abouté moyennant des prescriptions qui diffèrent (plus restrictives) de celles de la NF EN 15497 usuellement applicable au bois massif abouté.

On distingue les panneaux dont les planches sont assemblées sur leur grande surface :

- par collage structural ;
- par organe métallique de type tige.

On distingue les panneaux dont les surfaces de contact entre planches sur leur chant :

- sont assemblées par collage ;
- sont simplement en contact non cohésif.

Toutes les combinaisons possibles ne sont pas couvertes par le présent document qui se limite aux trois catégories suivantes de panneaux structuraux massifs bois :

- **panneaux CLT à chants collés** dont les planches sont assemblées par collage sur leur surface et sur leur chant ;
- **panneaux CLT à chants non collés** dont les planches sont assemblées par collage sur leur surface, avec simple contact non cohésif sur leur chant ;
- **panneaux massifs cloués** dont les planches sont assemblées deux à deux par fixation mécanique au moyen d'organes de fixation de type tige, avec simple contact non cohésif sur leur chant.

Note : Le présent document ne couvre pas les ouvrages en panneaux nervurés (panneaux assemblés mécaniquement et/ou par collage à une ou plusieurs poutres).

1.3 Évaluation Technique Européenne

En application du Règlement des Produits de Construction (RPC), les panneaux structuraux massifs bois peuvent faire l'objet d'une Évaluation Technique Européenne (ETE) sur la base d'un Document d'Évaluation Européen (DEE).

1.4 Norme NF EN 16351 et Eurocode 5

La norme NF EN 16351 a pour finalité de devenir la norme européenne harmonisée pour les panneaux CLT, au sens du RPC.

Au moment de la rédaction du présent document, cette norme n'a pas été publiée au JOUE et n'emporte donc pas encore obligation de marquage CE pour les panneaux entrant dans son champ d'application.

Néanmoins, cette norme sert de référentiel technique commun pour cette famille de produit, le présent document y fait donc régulièrement référence.

Au moment de la rédaction du présent document, la NF EN 1995 (Eurocode 5) ne couvre pas explicitement du dimensionnement des ouvrages en CLT ou panneaux structuraux massifs bois.

Une partie dédiée à cette famille de produit est en cours de préparation pour la révision de l'Eurocode 5. En outre, de nombreux principes de dimensionnement d'éléments à base de bois de l'Eurocode 5 sont applicables et certaines Annexes Nationales proposent des méthodes reprises dans les ETE, AT ou DTA existants. Ces principes et méthodes sont repris dans le présent document.

Dans la mesure du possible le présent document est rédigé pour pouvoir s'adapter aux évolutions de la NF EN 16351 et de l'Eurocode 5. Il convient à cet effet de préciser que :

- en cas de publication au JOUE, l'EN 16351 emportera obligation de marquage CE selon cette norme harmonisée (et par conséquent le probable arrêt des ETE) et/ou
- en cas de publication dans l'EN 1995-1-1 et/ou l'EN 1995-1-2 de règles de dimensionnements spécifiques à des panneaux couverts par le présent document, le contenu de cette (ces) norme(s) prévaudra alors sur toute prescription contradictoire du présent document.

1.5 Objet du CPT

Le présent CPT s'inscrit dans une série de documents formant le Cahier des Prescriptions Techniques (CPT) « Panneaux structuraux massifs bois » :

- Partie 1 : Critères généraux de choix des matériaux (partie commune)
- Partie 2 : Généralités, conception et dimensionnement

Le présent document a pour objet de définir les prescriptions courantes applicables aux planchers et murs en panneaux structuraux massifs bois pour la conception et la réalisation d'ouvrages utilisant ce type de procédé.

Les dispositions de la présente partie du document sont formulées pour les panneaux structuraux massifs bois de type CLT visés par la NF EN 16351 ou n'en différant que par le matériau à base de bois utilisé pour ses plis.

Le cas échéant, les dispositions spécifiques aux panneaux massifs cloués sont mises en évidence. Ces panneaux massifs cloués sont des procédés de murs uniquement.

Il indique les cas où, en fonction de justifications appropriées, des prescriptions différentes peuvent être envisagées dans un Document Technique d'Application (DTA) particulier.

Les éléments de mur ou plancher nervurés à base de panneau massif structuraux massifs bois sont exclus du présent document.

1.6 Domaine d'application

Le présent CPT est établi pour :

- Les ouvrages de planchers et de murs porteurs et/ou à fonction de contreventement en panneaux structuraux massifs bois tels que définis au § 1.2.
- La réalisation de ces ouvrages dans les bâtiments d'habitation, de bureaux, ainsi que les bâtiments industriels, agricoles et les établissements recevant du public. Les limitations du domaine d'emploi résultent alors du respect de la réglementation en vigueur applicable à ces bâtiments, notamment vis-à-vis de la résistance au feu des parois à base de structuraux massifs bois.
- Les ouvrages situés en zone sismique (cf. § 5).
- Les ouvrages abrités des intempéries et non soumis à des atmosphères agressives.
- Un dimensionnement des structures selon NF EN 1995-1-1 (Eurocode 5).
- Les structures relevant des conditions des Classes de Service 1 & 2 au sens de NF EN 1995-1-1.
- Les ouvrages relevant de la Classe d'Emploi 1 & 2 au sens de la NF EN 335.
- Les locaux à faible ou moyenne hygrométrie, à l'exclusion des locaux à forte et très forte hygrométrie, c'est-à-dire ceux pour lesquels $W/n > 5 \text{ g/m}^3$, avec :
 W = quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur du local par heure ;
 n = taux horaire de renouvellement d'air.

Pour les planchers ce domaine est complété comme suit :

- seuls les planchers sous charges à caractère statique ou quasi-statique pour des catégories d'usage A, B, C1, C2, C3 et D1 au sens de la NF EN 1991-1-1 sont visés ;

Note : Cette limitation ne préjuge pas de la faisabilité technique de réaliser des ouvrages pour d'autres catégories d'usage ou sous charges roulantes (pour lesquels il existe des références réussies), qui relève alors de la responsabilité du concepteur et du bureau d'études, du DTA ou de l'AT, en

vérifiant que les dispositions du présent document restent valables ou en les adaptant le cas échéant.

- dans les constructions usuelles, les planchers sur passage ouvert sont considérés comme abrités des intempéries ;
- à l'exclusion de la reprise des cloisons maçonnées ou fragiles.

La hauteur peut être limitée par les exigences constructives. On portera notamment une attention particulière :

- aux limitations liées à l'étanchéité à l'eau de la paroi selon le revêtement de façade choisi ;
- aux limitations liées à la réglementation incendie (notamment pour le risque de propagation du feu en façade) ;
- à la stabilité de l'ouvrage et l'effet cumulé notamment :
 - de la compression transversale sous effet des charges gravitaires ;
 - des variations dimensionnelles (tassement, évolution du taux d'humidité en service, ...) ;
 - du fluage et des déformations différentielles ;
 - des sollicitations sur les ancrages et leur support.

L'usage des panneaux massifs cloués tels que définis au § 1.2 est en outre limité :

- aux seuls ouvrages de murs porteurs et/ou à fonction de contreventement (seuls les panneaux de 5 plis au moins peuvent assurer le contreventement de la structure) ;
- aux constructions à 3 niveaux de panneaux (usuellement R+2).

Il n'a pas pour objet de traiter les autres parties de l'ouvrage ou les cas particuliers de certains ouvrages, notamment :

- les utilisations sous charges pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue ;
- les dispositifs de couverture et de support d'étanchéité pour lesquels on se référera au DTU correspondant ;
- les dispositions relatives aux complexes de revêtements de sols (p.ex. chape) notamment dans les locaux humides.

Toute extension du domaine d'emploi ainsi défini relève d'une évaluation spécifique dans le cadre d'un DTA ou d'un AT.

1.7 Exigences minimales vis-à-vis des panneaux structuraux massifs bois

1.7.1 Exigences générales

Pour entrer dans le champ d'application du présent CPT les panneaux structuraux massifs bois doivent répondre aux exigences minimales suivantes :

- le panneau appartient à une des catégories couvertes par le présent document au § 1.2
- et
- le panneau est titulaire d'une ETE valide tels que définis au § 1.3 ;
 - dans le cas d'une ETE, le DEE lui servant de référence reprend *a minima* les méthodes d'évaluation de la NF EN 16351 ;
 - le panneau est marqué CE et titulaire d'un Certificat CE de Constance des Performances correspondant au Système 1 d'Évaluation et de Vérification de la Constance des Performances (EVCP) selon l'Annexe V du règlement (EU) No 305/2011 ;
- ou

le panneau est marqué CE selon la NF EN 16351 et titulaire d'un Certificat CE de Constance des Performances

correspondant au Système 1 d'Évaluation et de Vérification de la Constance des Performances (EVCP) selon l'Annexe V du règlement (EU) No 305/2011 ;

ou

- lorsque le panneau ne fait pas l'objet du marquage CE selon une ETE valide ou une norme européenne harmonisée, le panneau est titulaire d'un Avis Technique (AT) conformes aux exigences du présent document, et notamment faire l'objet d'un contrôle de production en usine conforme aux prescriptions en la matière de la NF EN 16351, complétées le cas échéant de celles précisées en Annexe B
- et
- chacune des propriétés mécaniques principales listées au § 2.1.2 (panneaux CLT) ou au § 2.1.3 (panneaux massifs cloués) a été évaluée et déclarée dans le cadre de l'ETE, du marquage CE ou de l'AT.

1.7.2 Exigences complémentaires

1.7.2.1 Composants des panneaux

Les composants entrant dans la fabrication des panneaux structuraux massifs bois satisfont aux exigences du présent document, et notamment :

- les plis sont en bois massif ou autre matériau à base de bois satisfaisant aux exigences listés au § 1.8 et § 1.9 ;
- dans le cas d'assemblage collé, l'adhésif satisfait aux exigences listées au § 1.10 ;
- dans le cas d'assemblage mécanique par organe de type tige, les organes de fixation satisfont aux exigences du § 1.11.

1.7.2.2 Géométrie des panneaux CLT

Les panneaux sont constitués de plis faits avec des planches en bois massif ou autre matériau à base de bois.

Les plis sont ensuite empilés majoritairement croisés à 90° de manière alternée et assemblés par collage selon une méthode listée au § 1.2.

La configuration des plis du panneau satisfait aux exigences suivantes :

- le nombre de plis est au moins égal à trois ;
- au moins deux des plis sont en bois massif (ou abouté) ;
- les plis sont empilés croisés à 90°, sauf lorsque les conditions suivantes sont remplies simultanément :
 - le nombre de plis est d'au moins quatre, et
 - deux ou trois plis à sens du fil parallèle sont superposés et collés pour former une couche, et
 - l'épaisseur totale de la couche ainsi formée n'excède pas 90 mm, et
 - la couche ainsi formée est empilée croisée à 90° avec les plis adjacents ;
- la configuration des plis (et couches) du panneau doit être symétrique (géométriquement et mécaniquement) par rapport au pli central ;
- les plis (ou couches) extérieur(e)s des deux faces opposées des panneaux sont orienté(e)s dans la même direction ;
- dans le cas de plis en matériau à base de bois autre que le bois massif (abouté ou non), l'épaisseur totale cumulée de ces plis n'excède pas 50 % de l'épaisseur totale du panneau.

Pour les panneaux CLT à chants non collés, les joints entre planches adjacentes n'excèdent pas 6 mm.

L'épaisseur des panneaux structuraux massifs bois dépend du nombre de plis et des combinaisons possibles entre les différentes épaisseurs de planches, et est comprise entre 55 et 500 mm.

Note : Il résulte de la NF EN 16351 une épaisseur minimale de panneaux de 18 mm. Les panneaux d'épaisseur comprise entre 18 et 55 mm peuvent faire l'objet d'usage structural (p.ex. comme panneau de contreventement d'ossature) qui n'est pas visé par le présent document et relève alors du DTA ou de l'AT. Il conviendra notamment de mettre en relation l'épaisseur des plis avec la largeur admissible des joints entre planches adjacentes non collées à chant.

1.7.2.3 Géométrie des panneaux massifs cloués

Les panneaux sont constitués de plis faits avec des planches en bois massif. Les plis sont ensuite empilés croisés à 90° de manière alternée et assemblés mécaniquement selon une méthode listée au § 1.7.2.4.

La configuration des plis du panneau satisfait aux exigences suivantes :

- le nombre de plis est impair et au moins égal à trois ;
- tous les plis sont en bois massif (ou abouté) ;
- les plis sont empilés croisés à 90° ;
- la configuration des plis du panneau doit être symétrique (géométriquement et mécaniquement) par rapport au pli central ;
- les plis extérieurs des deux faces opposées des panneaux sont orientés dans la même direction.

Note : Le cas particulier des plis de parement (pli extérieur visible différent des autres plis du panneau) est traité au § 1.9.4.

Pour les panneaux massifs cloués, les joints entre planches adjacentes n'excèdent pas 3 mm.

L'épaisseur des panneaux structuraux massifs bois dépend du nombre de plis et des combinaisons possibles entre les différentes épaisseurs de planches, et est comprise entre 60 et 500 mm.

1.7.2.4 Assemblage des panneaux massifs cloués

Les planches sont assemblées deux à deux par fixation mécanique au moyen d'organes de type tige satisfaisant aux exigences du § 1.11., avec simple contact non cohésif sur leur chant.

La densité des organes de fixation peut être de deux ou quatre organes par plan de croisement (densité définie par le calcul en fonction des efforts à reprendre), selon le principe suivant :

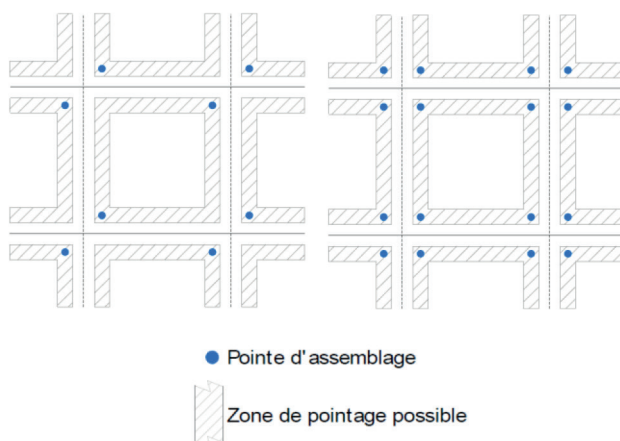


Figure 3 – Principe de fixation des planches de panneaux massifs cloués

Les règles et tolérances de positionnement, de distance au bord et d'espacement sont précisées dans l'ETE, l'AT ou le DTA du panneau, dans le respect des règles de pinces de la NF EN 1995-1-1 pour les distances au bord chargés perpendiculairement au fil du bois.

Au moment de l'assemblage des planches, leur humidité se situe entre 10 % et 15 %, sans excéder 18 %.

1.8 Exigences minimales vis-à-vis des plis de panneaux CLT

1.8.1 Matériaux utilisés

Les plis peuvent être réalisés à partir des matériaux suivants :

- bois massif selon NF EN 14081 ;
- bois massif selon NF EN 14081 abouté selon NF EN 16351 ou selon la NF EN 15497 en s'assurant que les exigences de la NF EN 16351 soient également respectées (*) ;
- lamibois (LVL) selon NF EN 14374 ;
- panneau à base de bois selon NF EN 13986 ;
- autre matériaux bois ou dérivés du bois (selon leur ETE ou référentiel spécifique).

(*) La NF EN 16351 permet l'utilisation de bois massif abouté moyennant des prescriptions qui diffèrent (plus restrictives) de celles de la NF EN 15497 usuellement applicable au bois massif abouté.

L'utilisation de matériau recyclé n'est pas permise.

En outre, selon le matériau utilisé, les plis satisfont aux exigences listées ci-après dans la section correspondante.

1.8.2 Plis en bois massif ou bois massif abouté

Les plis sont constitués de planches en bois massif abouté dans le sens parallèle à leur fil, sauf lorsque la longueur de la planche correspond à la dimension du panneau dans la direction du fil de celle-ci.

Sauf mention contraire :

- le bois massif est classé selon la NF EN 14081 ;
- le bois abouté est conforme à la NF EN 16351 ou à la NF EN 15497 en s'assurant que les exigences de la NF EN 16351 soient également respectées ;
- sa classe de résistance est déclarée selon la NF EN 338.

1.8.2.1 Types d'essences utilisées

Les planches en bois massif utilisées pour la réalisation des plis peuvent être en épicéa, sapin, pin, mélèze ou douglas, ou toute autre essence listée dans la NF EN 16351, § 5.1.5.

Le cas d'essences de bois massif non couvertes par la définition ci-dessus est visé au § 1.8.4.

1.8.2.2 Caractéristiques géométriques

L'épaisseur des planches est comprise entre 6 et 45 mm, sauf dans le cas particulier du pli central d'un panneau de 3 plis dont l'épaisseur est comprise entre 6 et 60 mm (NF EN 16351).

La largeur des planches est comprise entre 40 et 300 mm.

La longueur des planches correspond à la dimension du panneau dans la direction du fil de celle-ci. Les planches de longueur plus courte sont donc obligatoirement aboutées.

La tolérance sur l'épaisseur des planches après rabotage est de $\pm 0,15$ mm entre deux points d'une même planche.

Note : Cette tolérance doit permettre de respecter l'épaisseur maximale de joint de colle de 0,30 mm. Dans tous les

cas, la tolérance de rabotage doit permettre de respecter les exigences du fabricant de la colle.

Les caractéristiques sont données pour un taux d'humidité compris entre 6 et 15 %.

1.8.2.3 Caractéristiques mécaniques

Les planches utilisées sont classées conformément à la norme NF EN 14081, et leur classe de résistance est déclarée selon la NF EN 338.

Chaque pli est réalisé à partir de planches dont les classes mécaniques satisfont aux exigences minimales suivantes :

- Les plis longitudinaux sont de classe déclarée C18 minimum (NF EN 338), les plis transversaux sont de classe C16 minimum ;
- Dans le cas général, toutes les planches d'un même pli appartiennent à la même classe de résistance ;
- Lorsque toutes les planches d'un même pli ne sont pas de la même classe de résistance :
 - au moins 90 % des planches d'un même pli correspondent la classe de résistance déclarée pour ce pli ;
 - les caractéristiques de résistance (notamment en flexion) des 10 % restants ne peuvent dévier de plus de 35 % des caractéristiques de la classe de résistance déclarée, sans pour autant être inférieures à celles de la classe C16.

Il est possible de mélanger des planches d'essences différentes dans un même pli à condition que leurs caractéristiques physiques et particulièrement de variations dimensionnelles (retrait, gonflement) soient similaires. Le pin sylvestre, l'épicéa et le sapin correspondent à ce critère de similarité. Le mélange d'autres essences au sein du même pli relève du DTA ou de l'AT.

Note : Le cas particulier des plis de parement (essence du pli extérieur visible différente de l'essence des autres plis du panneau) est traité au § 1.8.5.

1.8.3 Plis en lamibois ou panneau à base de bois

Les plis sont constitués de panneaux en lamibois (LVL) ou panneaux à base de bois.

Sauf mention contraire :

- le lamibois (LVL) est classé selon la NF EN 14374 ;
- le panneau à base de bois est conforme à la NF EN 13986 ;
- sa classe de résistance est déclarée selon la norme technique correspondant au type de panneau à base de bois utilisé.

Le matériau utilisé doit en outre satisfaire aux conditions de la classe de service 2 selon NF EN 1995-1-1.

1.8.3.1 Caractéristiques géométriques

L'épaisseur des plis est comprise entre 6 et 45 mm.

La longueur du panneau à base de bois doit correspondre aux dimensions du panneau structural massif bois dans le sens porteur du pli considéré, et ne contenir aucun joint structural dans cette direction.

Les caractéristiques sont données pour un taux d'humidité compris entre 6 et 15 %.

1.8.3.2 Caractéristiques mécaniques

Les plis en lamibois (LVL) sont classés et leurs propriétés mécaniques déclarées selon la NF EN 14374.

Les plis en panneau à base de bois sont classés selon la NF EN 13986 et la norme technique correspondant au type

de panneau utilisé. Leurs propriétés sont celles déclarées dans le cadre du marquage CE du panneau utilisé.

Chaque pli est réalisé à partir de lamibois ou panneaux à base de bois correspondant à la même classe de résistance.

Il n'y a pas d'exigence de classe de résistance minimale pour ces matériaux.

1.8.4 Plis en autre matériau à base de bois ou essence non listée

Les plis qui ne sont pas réalisés en matériaux visés aux § 1.8.2 et § 1.8.3 n'entrent pas dans le champ d'application direct de la NF EN 16351.

Ces matériaux doivent alors être classés et évalués dans le cadre d'une ETE, ou d'un référentiel spécifique.

Le matériau utilisé doit en outre satisfaire aux conditions de la classe de service 2 selon NF EN 1995-1-1.

Chaque pli est réalisé à partir de matériaux correspondant à la même classe de résistance.

Les exigences, notamment en termes de caractéristiques géométriques et mécaniques, sont alors déterminées en fonction du référentiel de classement, selon les modalités précisées ci-après dans la section correspondante.

1.8.4.1 Plis en bois massif d'essence non listée

Les plis dont l'essence n'est pas couverte par la définition du § 1.8.2.1 sont constitués de planches en bois massif abouté dans le sens parallèle à leur fil, sauf lorsque la longueur de la planche correspond à la dimension du panneau dans la direction du fil de celle-ci.

Les exigences vis-à-vis de leur fabrication, de leur classement, ainsi que de leur contrôle de production en usine sont fixées dans le cadre de l'AT ou du DTA, en s'appuyant autant que faire se peut sur celles du présent document et/ou des normes afférentes.

Les caractéristiques géométriques satisfont aux exigences du § 1.8.2.2, sauf prescription contraire justifiée par la particularité de l'essence utilisée et visée dans le cadre de l'AT ou du DTA.

Les exigences et caractéristiques mécaniques sont évaluées et fixées dans le cadre de l'AT ou du DTA du panneau structural massif bois, en s'appuyant autant que faire se peut sur celles du présent document et/ou des normes afférentes.

1.8.4.2 Plis en autre matériau dérivé du bois

Les plis sont constitués de panneaux en autre matériau dérivé du bois, non couverts par la définition du § 1.8.3.

Seuls des matériaux faisant l'objet d'une ETE ou d'un AT peuvent être utilisés dans le cadre du présent document.

Les exigences vis-à-vis de leur fabrication, de leur classement, ainsi que de leur contrôle de production en usine sont fixées :

- dans l'ETE pour les matériaux en faisant l'objet, et sous réserve que l'évaluation se sera appuyée autant que faire se peut sur les exigences du présent document et/ou des normes afférentes ;
- dans l'AT, pour les matériaux en faisant l'objet, dans le cadre duquel l'évaluation se sera appuyée autant que faire se peut sur les exigences du présent document et/ou des normes afférentes.

Les caractéristiques géométriques satisfont aux exigences du § 1.8.3.1, sauf prescription contraire justifiée par la particularité de l'essence utilisée et visée dans le cadre de l'AT ou du DTA.

Les exigences et caractéristiques mécaniques sont évaluées et fixées dans le cadre de l'AT ou du DTA du panneau structural massif bois, en s'appuyant autant que faire se peut sur celles du présent document et/ou des normes afférentes.

1.8.5 Cas particulier des plis de parement

Lorsque l'un ou les deux plis extérieurs sont réalisés dans une essence différente de celle utilisée pour les plis centraux dans le but de fournir un aspect visuel particulier à la face visible du panneau structural massif bois, une attention particulière doit être portée aux caractéristiques suivantes.

Il est possible de mélanger des plis d'essences différentes dans un même panneau à condition que leurs caractéristiques physiques et particulièrement de variations dimensionnelles (retrait, gonflement) soient similaires. Le pin sylvestre, l'épicéa et le sapin correspondent à ce critère de similarité. Le mélange d'autres essences relève du DTA ou de l'AT.

La convenance de la colle au collage d'essences différentes doit également être vérifiée dans le cadre du DTA ou de l'AT, en évaluant notamment dans quelle mesure l'essence prescrite par la norme d'essai permet de couvrir l'essence visée.

En outre, la réalisation d'un pli de parement sur une seule face rompt potentiellement la symétrie géométrique et mécanique de la composition du panneau prescrite au § 1.7.2.2. L'influence mécanique de cette dissymétrie doit être prise en compte, notamment en termes de raideur et de redistribution des contraintes au sein du panneau, et ne saurait être négligée.

1.9 Exigences minimales vis-à-vis des plis de panneaux massifs cloués

1.9.1 Matériaux utilisés

Les plis peuvent être réalisés à partir des matériaux suivants :

- bois massif selon NF EN 14081 ;
- bois massif selon NF EN 14081 abouté selon la NF EN 15497.

L'utilisation de plis en autres matériaux à base de bois est évaluée spécifiquement dans le cadre de l'AT ou du DTA du panneau et n'est pas visée par le présent document.

L'utilisation de matériau recyclé n'est pas permise.

En outre, selon le matériau utilisé, les plis satisfont aux exigences listées ci-après dans la section correspondante.

1.9.2 Plis en bois massif ou bois massif abouté

Les plis sont constitués de planches en bois massif abouté dans le sens parallèle à leur fil, sauf lorsque la longueur de la planche correspond à la dimension du panneau dans la direction du fil de celle-ci.

Sauf mention contraire :

- le bois massif est classé selon la NF EN 14081 ;
- le bois abouté est conforme à la NF EN 15497 ;
- sa classe de résistance est déclarée selon la NF EN 338.

1.9.2.1 Types d'essences utilisées

Les planches en bois massif utilisées pour la réalisation des plis peuvent être en épicéa, sapin, pin, mélèze ou douglas.

Le cas d'essences de bois massif non couvertes par la définition ci-dessus est visé au § 1.9.3.

1.9.2.2 Caractéristiques géométriques

L'épaisseur des planches est comprise entre 20 et 30 mm.

La largeur des planches est comprise entre 120 et 220 mm.

La longueur des planches correspond à la dimension du panneau dans la direction du fil de celle-ci. Les planches de longueur plus courte sont donc obligatoirement aboutées.

La tolérance sur l'épaisseur des planches après rabotage est de $\pm 0,10$ mm entre deux points d'une même planche.

Les caractéristiques sont données pour un taux d'humidité de référence de 15 %.

1.9.2.3 Caractéristiques mécaniques

Les planches utilisées sont classées conformément à la norme NF EN 14081, et leur classe de résistance est déclarée selon la NF EN 338.

Chaque pli est réalisé à partir de planches dont les classes mécaniques satisfont aux exigences minimales suivantes :

- les plis sont de classe déclarée C18 minimum (NF EN 338) ;
- dans le cas général, toutes les planches d'un même pli appartiennent à la même classe de résistance ;
- lorsque toutes les planches d'un même pli ne sont pas de la même classe de résistance :
 - au moins 90 % des planches d'un même pli correspondent la classe de résistance déclarée pour ce pli ;
 - les caractéristiques de résistance (notamment en flexion) des 10 % restants ne peuvent dévier de plus de 35 % des caractéristiques de la classe de résistance déclarée, sans pour autant être inférieures à celles de la classe C16.

Il est possible de mélanger des planches d'essences différentes dans un même pli à condition que leurs caractéristiques physiques et particulièrement de variations dimensionnelles (retrait, gonflement) soient similaires. Le pin sylvestre, l'épicéa et le sapin correspondent à ce critère de similarité. Le mélange d'autres essences au sein du même pli relève du DTA ou de l'AT.

Note : Le cas particulier des plis de parement (essence du pli extérieur visible différente de l'essence des autres plis du panneau) est traité au § 1.9.4.

1.9.3 Plis en autre matériau à base de bois ou essence non listée

Les plis qui ne sont pas réalisés en matériaux visés aux § 1.9.2 n'entrent pas dans le champ d'application direct du présent document.

Ces matériaux doivent alors être classés et évalués dans le cadre d'une ETE, ou d'un référentiel spécifique.

Le matériau utilisé doit en outre satisfaire aux conditions de la classe de service 2 ou 3 selon NF EN 1995-1-1.

Chaque pli est réalisé à partir de matériaux correspondant à la même classe de résistance.

Les exigences, notamment en termes de caractéristiques géométriques et mécaniques, sont alors déterminées en fonction du référentiel de classement, selon les modalités précisées ci-après dans la section correspondante.

1.9.3.1 Plis en bois massif d'essence non listée

Les plis dont l'essence n'est pas couverte par la définition du § 1.9.2.1 sont constitués de planches en bois massif abouté dans le sens parallèle à leur fil, sauf lorsque la longueur de la planche correspond à la dimension du panneau dans la direction du fil de celle-ci.

Les exigences vis-à-vis de leur fabrication, de leur classement, ainsi que de leur contrôle de production en usine sont fixées dans le cadre de l'AT ou du DTA, en s'appuyant autant que faire se peut sur celles du présent document et/ou des normes afférentes.

Les caractéristiques géométriques satisfont aux exigences du § 1.9.2.2, sauf prescription contraire justifiée par la parti-

cularité de l'essence utilisée et visée dans le cadre de l'AT ou du DTA.

Les exigences et caractéristiques mécaniques sont évaluées et fixées dans le cadre de l'AT ou du DTA du panneau structural massif bois, en s'appuyant autant que faire se peut sur celles du présent document et/ou des normes afférentes.

1.9.3.2 Plis en autre matériau dérivé du bois

Les plis constitués de panneaux en autre matériau dérivé du bois ne sont pas couverts par le présent document.

1.9.4 Cas particulier des plis de parement

Lorsque l'un ou les deux plis extérieurs sont réalisés dans une essence différente de celle utilisée pour les plis centraux dans le but de fournir un aspect visuel particulier à la face visible du panneau structural massif bois, une attention particulière doit être portée aux caractéristiques suivantes.

Il est possible de mélanger des plis d'essences différentes dans un même panneau à condition que leurs caractéristiques physiques et particulièrement de variations dimensionnelles (retrait, gonflement) soient similaires. Le pin sylvestre, l'épicéa et le sapin correspondent à ce critère de similarité. Le mélange d'autres essences relève du DTA ou de l'AT.

En outre, la réalisation d'un pli de parement sur une seule face rompt potentiellement la symétrie géométrique et mécanique de la composition du panneau prescrite au § 1.7.2.3. L'influence mécanique de cette dissymétrie doit être prise en compte, notamment en termes de raideur et de redistribution des contraintes au sein du panneau, et ne saurait être négligée.

1.10 Colles

Les colles utilisées pour la production de panneaux CLT satisfont aux exigences de la NF EN 16351.

Elles sont notamment de Type I selon NF EN 301 ou NF EN 15425, afin de permettre un usage structural des panneaux en intérieur et en extérieur pour les classes de services 1 et 2 suivant la NF EN 1995-1-1.

1.11 Organes de fixation pour panneau massif cloué

On distingue les organes de fixation utilisés pour la fabrication des panneaux massifs cloués, de ceux utilisés pour l'assemblage de panneaux structuraux massifs bois entre eux ou avec d'autres éléments de l'ouvrage.

L'assemblage deux à deux des planches croisées des panneaux massifs cloués est réalisé avec des pointes annelées (ou crantées) :

- en acier (elles sont alors conformes à l'EN 14592), ou en aluminium EN AW-5019,
- et de 40 à 60 mm de longueur (la longueur doit être adaptée à l'épaisseur de deux planches successives assemblées et est précisée dans l'ETE, l'AT ou le DTA).

Ces organes de fixation satisfont aux dispositions de compatibilité des organes métalliques précisées au § 2.3.1.

Ces pointes font l'objet :

- d'essais de type initiaux visant à déterminer leurs caractéristiques mécaniques, notamment leur raideur K (ELU et ELS) et leur résistance caractéristique au cisaillement $F_{v,Rk}$ (la méthode décrite en Annexe A est applicable) ;
- d'un contrôle de production en usine lors de leur fabrication selon les prescriptions de l'Annexe B ;

- d'un contrôle de production en usine avec supervision par un tiers visant à contrôler les performances des planches assemblées, lors de la fabrication des panneaux massifs cloués selon les prescriptions de l'Annexe B.

L'ETE ou à défaut l'AT ou le DTA fixent les exigences minimales en termes de réalisation de l'assemblage des planches entre elles lors de la fabrication des panneaux massifs cloués.

1.12 Autres composants (connecteurs, panneaux, fixations, accessoires)

Les panneaux structuraux massifs bois font également entrer dans leur fonctionnement structural les composants suivants :

- éléments de fixation de type tige (clous, vis, agrafes) et chevilles mécaniques ;
- connecteurs métalliques plats ou tridimensionnels pour certains assemblages porteurs ;
- panneaux à base de bois à usage structural utilisés pour la réalisation de liaisons entre panneaux structuraux massifs bois ou d'autres dispositions constructives du présent CPT.

Ces composants relèvent d'exigences ou de spécifications décrites :

- au § 2.3.2 pour les éléments de fixation de type tige (clous, vis, agrafes) ;
- au § 2.3.3 pour les connecteurs métalliques tridimensionnels ;
- au § 2.3.4 pour les autres composants listés ci-dessus.

Leur liste ci-dessus est non exhaustive et non exclusive, d'autres composants pouvant être employés.

1.13 Plans et documents de pose et d'exécution

La pose et l'exécution font l'objet de plans et de documents suffisants pour définir entièrement les dispositions des ouvrages à réaliser, et portant la marque commerciale du procédé, l'identification du site de fabrication et la ou les références à l'ETE (cas des panneaux structuraux massifs bois marqués CE), ou au DTA ou AT.

Doivent notamment figurer sur ces plans et documents :

- les hypothèses de charge appliquées sur l'ouvrage concerné ;
- la définition des panneaux structuraux massifs bois spécifiés (type et hauteur tels que définis dans l'ETE ou le DTA ou AT) ;
- la définition des autres éléments de structure prépondérants (connecteurs, accessoires et/ou renforts divers, etc.) ;
- le repérage des panneaux structuraux massifs bois et celui de leur implantation par rapport à la structure ;
- les dispositions à respecter pour les appuis, assemblages, détails de pose spécifiques ;
- le cas échéant, les dispositions complémentaires et leurs justifications permettant d'assurer les fonctions de diaphragme ou de stabilité (provisoire et définitive) de l'ouvrage ;
- les conditions de stockage et de manutention ;
- et, d'une façon générale, toutes les indications que le présent CPT, l'ETE, le DTA ou l'AT font obligation de faire figurer sur les documents de pose et d'exécution.

Ces éléments figurent sur le « plan de pose ». Celui-ci est établi soit par un bureau d'études, soit par le fabricant, soit par une entreprise disposant d'un bureau d'études qualifié.

Dans ce dernier cas, les indications doivent être complétées par le bureau d'études chargé de l'étude d'exécution du bâtiment en ce qui concerne les interfaces avec les autres parties de l'ouvrage.

1.14 Références et normes associées

Note : De manière générale, seules les références de norme dont un paragraphe précis est mentionné dans le présent document sont datées.

Normes Européennes

NF EN 301	Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structures portantes en bois – Classification et exigences de performance.
NF EN 335	Durabilité du bois et des matériaux à base de bois – Classes d'emploi.
NF EN 338	Bois de structure – Classes de résistance.
NF EN 350	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois – Méthodes d'essai et de classification de la durabilité vis-à-vis des agents biologiques du bois et des matériaux dérivés du bois – Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois – Méthodes d'essai et de classification de la durabilité à l'eau du bois et des matériaux à base de bois.
NF EN 1090-2	Exécution des structures en acier et des structures en aluminium – Partie 2 : exigences techniques pour les structures en acier (avec son amendement A1)
NF EN 12354-1	Acoustique du bâtiment – calcul de la performance des bâtiments à partir de la performance des éléments
NF EN 12512	Structures en bois – Essais cycliques d'assemblages réalisés par organes mécaniques
NF EN 13986+A1	Panneaux à base de bois destinés à la construction – Caractéristiques, évaluation de conformité et marquage.
NF EN 14081	Structures en bois – Bois de structure à section rectangulaire classé pour sa résistance
NF EN 14374	Structures en bois – LVL (Lamibois) – Exigences.
NF EN 14592	Structure en bois – Eléments de fixation de type tige – Exigences
NF EN 15228	Bois de structure – Bois de structure traité avec un produit de préservation contre les attaques biologiques
NF EN 15425	Adhésifs polyuréthane monocomposants pour charpentes en bois portantes – Classification et exigences relatives à la performance
NF EN 15497	Bois massif de structure à entures multiples – Exigences de performances et exigences minimales de fabrication
NF EN 16351	Structures en bois – Bois lamellé-croisé – Exigences

Normes Européennes – Eurocodes

NF EN 1990	Eurocodes : Bases de calcul des structures
NF EN 1991-1-1	Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-1 : Actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation bâtiment
NF EN 1991-1-3	Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige
NF EN 1991-1-4	Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent
NF EN 1991-1-6	Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-6 : Actions en cours d'exécution
NF EN 1992	Eurocode 2 – Calcul des structures en béton.
NF EN 1993	Eurocode 3 – Calcul des structures en acier.
NF EN 1995-1-1	Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-1 : généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments (avec ses amendements A1 et A2)
NF EN 1995-1-2	Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : Calcul des structures au feu
NF EN 1998-1	Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments

Normes françaises

NF DTU 20.1	Travaux de bâtiment – Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs
NF DTU 31.1	Travaux de bâtiment – Charpente bois.
NF DTU 31.2	Travaux de bâtiment – Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois.
NF DTU 41.2	Travaux de bâtiment – Revêtements extérieurs en bois.
NF DTU 51.4	Travaux de bâtiment – Platelages extérieurs en bois

Autres références

NF EN ISO 717-1	Acoustique – Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 1 : isolement aux bruits aériens
NF EN ISO 717-2	Acoustique – Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 2 : protection contre le bruit de choc
NF EN ISO 12572	Performance hygrométrique des matériaux et produits pour le bâtiment – Détermination des propriétés de transmission de la vapeur d'eau
ÖNORM EN 1995-1-1+A1/NA : 2013	Annexe Nationale Autrichienne de l'Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-1 : généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments

Guides d'ATE – Documents d'Évaluation Européen

EAD 330232-00-0601	Chevilles métalliques pour béton
--------------------	----------------------------------

2. Prescriptions communes

Le présent chapitre décrit les prescriptions communes aux différents types de panneaux structuraux massifs bois, mais aussi aux structures de mur ou de plancher.

Ce chapitre fait régulièrement référence au marquage CE du panneau structural massif bois, basé :

- soit sur l'ETE dont fait l'objet de panneau (situation à la date de rédaction du présent document) ;
- soit sur la norme harmonisée EN 16351 (situation après publication de cette norme au JOUE).

Lorsque le panneau ne fait pas l'objet d'un marquage CE, il fait l'objet d'un Avis Technique (AT) évalué sur la base du présent document.

Toute référence à l'ETE ou au marquage CE dans ce qui suit implique par conséquent que les propriétés, prescriptions, autorisations et limitations correspondantes soient précisées dans l'AT.

De même toute référence à la précision de propriétés, prescriptions, autorisations et limitations dans le DTA s'applique également à l'AT.

2.1 Propriétés des panneaux structuraux massifs bois

Sauf indication contraire, les propriétés listées dans la présente section doivent être évaluées dans le cadre du marquage CE du panneau et précisées dans le DTA ou l'AT du panneau.

2.1.1 Propriétés mécaniques du matériau composant les plis

2.1.1.1 Bois massif ou bois massif abouté

Bois massif selon NF EN 14081 ou bois abouté selon NF EN 16351 ou selon la NF EN 15497 en s'assurant que les exigences de la NF EN 16351 soient également respectées ; classe de résistance selon EN 338.

2.1.1.2 Lamibois ou panneau à base de bois

Lamibois (LVL) selon NF EN 14374 : propriétés selon DOP.

Panneau à base de bois selon NF EN 13986 : propriétés selon DOP et leur classe de résistance déclarée selon la NF EN 12369-1 ou -2, selon le type de panneau utilisé.

2.1.1.3 Bois massif d'essence non listée

Les plis qui ne sont pas réalisés en matériaux visés aux § 1.8.2 et § 1.8.3 n'entrent pas dans le champ d'application direct de la NF EN 16351.

Les caractéristiques mécaniques sont évaluées et fixées dans le cadre de l'AT ou du DTA du panneau structural massif bois, en s'appuyant autant que faire se peut sur celles du présent document et/ou des normes afférentes.

2.1.1.4 Autre matériau à base de bois

Les plis qui ne sont pas réalisés en matériaux visés aux § 1.8.2 et § 1.8.3 n'entrent pas dans le champ d'application direct de la NF EN 16351.

Ces matériaux doivent alors être classés et évalués dans le cadre d'une ETE, ou d'un référentiel spécifique qui liste les propriétés mécaniques.

2.1.2 Propriétés mécaniques des panneaux CLT

Les propriétés mécaniques des panneaux CLT sont déterminées et déclarées selon la NF EN 16351 ou l'ETE du

panneau, ou à défaut dans l'AT ou le DTA de celui-ci, conformément aux dispositions du présent document.

En l'absence de justification d'une méthode plus appropriée, les méthodes de détermination de la NF EN 16351 s'appliquent.

Toutes les propriétés mécaniques (et notamment celles listées au § 1.1.2) nécessaires au dimensionnement des panneaux selon les dispositions du présent document doivent être déterminées et déclarées comme précisé plus haut.

2.1.3 Propriétés mécaniques des panneaux massifs cloués

Les propriétés mécaniques des panneaux massifs cloués sont déterminées et déclarées selon l'ETE du panneau, ou à défaut dans l'AT ou le DTA de celui-ci, conformément aux dispositions du présent document.

En l'absence de justification d'une méthode plus appropriée, les méthodes de détermination du présent document s'appliquent.

Toutes les propriétés mécaniques (et notamment celles listées au § 1.1.2) nécessaires au dimensionnement des panneaux selon les dispositions du présent document doivent être déterminées et déclarées comme précisé plus haut.

Une attention particulière est portée à la caractérisation des propriétés des organes de fixation entre planches des panneaux massifs cloués telle que précisées dans les exigences minimales du § 1.11.

2.1.4 Coefficient partiel sur les matériaux γ_M

Les coefficients γ_M des matériaux à base de bois sont définis dans l'Annexe Nationale de la NF EN 1995-1-1 ou à défaut dans l'AT, l'ETE, le DTA ou l'AT dont ils relèvent.

Dans le cas de panneaux massifs structuraux bois fabriqués à partir de plis de matériaux différents il peut être utilisé :

- soit le coefficient partiel γ_M du composant des plis entrant en ligne de compte pour chacune des vérifications ;
- soit un coefficient partiel γ_M unique appliqué uniformément à la vérification de tous les efforts agissants.

Le choix de la méthode utilisée doit être précisé au DTA.

Dans le cas de l'utilisation d'un coefficient partiel γ_M unique pour le panneau massif structural bois, en l'absence d'un coefficient γ_M spécifiquement défini dans l'Annexe Nationale de la NF EN 1995-1-1 pour cette famille de produits, et si aucun autre coefficient n'est proposé dans l'ETE du panneau concerné, celui-ci devra être précisé dans le DTA ou l'AT.

En l'absence d'éléments justifiant une valeur plus appropriée, on prendra alors : $\gamma_M = 1,25$ pour les panneaux de type CLT en bois massif ; $\gamma_M = 1,30$ pour les autres typologies de panneaux.

Note : La valeur de 1,25 correspond à la valeur recommandée par le projet de révision de l'EN 1995-1-1 au moment de la rédaction du présent document.

Pour les vérifications accidentelles : $\gamma_M = 1,0$.

2.1.5 Coefficient de modification k_{mod}

On tient compte du comportement des panneaux structuraux massifs bois vis-à-vis de l'humidité et de la durée de chargement par l'application de coefficients k_{mod} (NF EN 1995-1-1), le cas échéant différenciés selon l'effort vérifié et le matériau des plis concernés.

2.1.6 Coefficient de déformation k_{def}

On tient compte du comportement des panneaux structuraux massifs bois vis-à-vis du fluage par l'application de coefficients k_{def} (NF EN 1995-1-1) le cas échéant différenciés selon la fraction de la déformation calculée et le matériau des plis mobilisés.

Pour les panneaux de type CLT en bois massif, on applique les valeurs de coefficients k_{def} définies dans la NF EN 1995-1-1 pour le contreplaqué. Pour les autres typologies de panneaux, les valeurs de coefficients k_{def} sont précisées dans le DTA ou l'AT.

2.1.7 Autres caractéristiques physiques des panneaux

2.1.7.1 Masse volumique

La masse volumique moyenne des panneaux doit être prise comme étant égale à la masse volumique moyenne des planches de la plus basse classe de résistance mécanique constituant un pli.

La masse volumique caractéristique doit, elle, être prise comme étant égale à la masse volumique caractéristique des planches de la plus basse classe de résistance mécanique constituant un pli, multipliée par 1,1.

Le tableau 1 de la norme EN 338 donne les propriétés de résistance, de rigidité et les masses volumiques pour les différentes classes de résistance.

2.1.7.2 Variations dimensionnelles

Les dimensions des panneaux sont influencées par les variations d'humidité.

Si l'humidité des panneaux diffère de l'humidité de référence (entre 6 et 15 %) les dimensions corrigées doivent être déterminées.

La rétractibilité du panneau dans son plan est très faible du fait de la présence de planches disposées longitudinalement : elle est usuellement de l'ordre de 0,01 % pour 1 % de variation d'humidité du bois.

La rétractibilité du panneau dans son épaisseur est de l'ordre de 0,2 % pour 1 % de variation d'humidité du bois.

La rétractibilité du panneau pouvant être fonction de sa composition, elle doit être précisée dans le DTA ou l'AT du panneau.

2.1.7.3 Capacité calorifique massique c_p

La capacité calorifique massique des panneaux structuraux massifs bois est de $c_p = 1,60 \text{ kJ/kg.K}$.

Lorsque cette valeur n'est pas adaptée pour une composition de panneau donnée, la capacité calorifique massique doit être précisée dans le DTA ou l'AT du panneau.

2.1.7.4 Coefficient de conductivité thermique

Les panneaux structuraux massifs bois ont un coefficient de conductivité thermique $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$.

Lorsque cette valeur n'est pas adaptée pour une composition de panneau donnée, la conductivité thermique doit être précisée dans le DTA ou l'AT du panneau.

2.1.7.5 Facteur de résistance à la vapeur d'eau

La résistance aux transferts de vapeur d'eau peut être déterminée soit par essais selon la norme NF EN ISO 12572 ou à l'aide des valeurs tabulées des règles Th U fascicule 2.

La résistance aux transferts de vapeur d'eau doit être précisée dans le DTA ou l'AT du panneau.

2.1.7.6 Affaiblissement acoustique R_w

Selon la norme NF EN 12354-1, il est possible d'estimer l'affaiblissement acoustique au bruit aérien des panneaux nus.

La valeur de l'affaiblissement acoustique peut être précisée dans le DTA ou l'AT du panneau.

2.2 Conditions d'usage (cl. de service, durabilité, traitement)

Les panneaux structuraux massifs bois peuvent être utilisés dans les conditions définies dans le domaine d'application du présent document spécifié au § 1.6, à savoir notamment :

- Les structures relevant des conditions des Classes de Service 1 & 2 au sens de la NF EN 1995-1-1 ;
- Les ouvrages relevant de la Classe d'Emploi 1 & 2 au sens de la NF EN 335

Conformément à l'arrêté du 27 juin 2006, les panneaux structuraux massifs bois qui participent à la solidité des bâtiments devront être naturellement durables ou avoir une durabilité conférée (traitement de préservation) contre les insectes à larves xylophages sur l'ensemble du territoire, et en complément, contre les termites dans les départements dans lesquels a été publié un arrêté préfectoral pris par application de l'article L.133-5 du code de la construction et de l'habitation.

En fonction de la classe d'emploi liée à la position du panneau structural massif bois dans l'ouvrage d'une part, et à l'essence utilisée d'autre part, un traitement de préservation du bois peut être nécessaire. Il convient de respecter à cet égard les prescriptions des normes NF EN 335 et NF EN 350.

Lorsqu'un traitement est nécessaire, il doit être réalisé en usine après façonnage des planches, de même qu'après le traitement des découpes réalisées sur les panneaux en respectant les dispositions de la NF EN 15228.

2.3 Dispositions spécifiques aux autres composants

2.3.1 Compatibilité des organes métalliques

Les organes de fixation de type tige, les connecteurs tridimensionnels (acier et revêtement de surface) et leurs organes de fixation, et toute pièce métallique en contact avec les panneaux structuraux massifs bois doivent être adaptés :

- à la Classe de Service et la Classe d'Emploi de l'ouvrage en panneaux massifs structuraux bois considéré ;
- et
- à l'essence de bois du pli avec lequel ils sont en contact

Note : Le pin sylvestre, l'épicéa et le sapin ne présentent pas d'incompatibilité dans les Classes de Service et d'emploi visées. À titre d'exemple le chêne, le châtaigner ou le douglas sont incompatibles avec le zinc, l'aluminium, le plomb ou certaines qualités d'inox. On pourra se référer au Tableau 10 du NF DTU 31.2 Partie 1-2 (CGM) de 2017 et au Tableau 4 du NF DTU 51.4 Partie 1-2 (CGM).

2.3.2 Organes de fixation pour assemblages structuraux

Les organes de fixation métalliques de type tige utilisés pour l'assemblage de panneaux structuraux massifs bois entre eux ou avec d'autres éléments de l'ouvrage font l'objet :

- d'un marquage CE selon la NF EN 14592, lorsque l'organe ne traverse pas plus de deux plans de cisaillement ;
- d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois lorsque l'organe traverse plus de deux plans de cisaillement ou est inséré dans l'épaisseur du panneau (parallèlement aux plans de collage).

Note : au moment de la rédaction du présent document, la NF EN 1995-1-1 ne couvre pas explicitement les panneaux massifs structuraux bois, notamment pour ce qui est des assemblages. Les dispositions ci-dessus visent à clarifier l'applicabilité des principes des § 7.1 et § 8 de la NF EN 1995-1-1 et son amendement A1.

2.3.3 Connecteurs métalliques tridimensionnels

2.3.3.1 Exigences

Les connecteurs métalliques tridimensionnels utilisés pour l'assemblage de panneaux structuraux massifs bois entre eux ou avec d'autres éléments de l'ouvrage font l'objet d'une ETE ou d'un AT visant la fixation dans un support bois.

Alternativement, des ferrures mécano-soudées peuvent également être utilisées. Elles se conforment alors aux dispositions des NF DTU 31.1, NF DTU 31.2 et réalisées selon la NF EN 1090-2.

Dans le cas des structures sous sollicitations sismique, l'utilisation de ces ferrures mécano-soudées n'est autorisée que si la justification des structures est menée en suivant le principe de comportement de structure faiblement dissipatif (DCL). En classe DCM, ces connecteurs peuvent être utilisés pour les assemblages de panneaux ne participant pas à la transmission des efforts sismiques sauf si il y a justification de leur ductilité sous sollicitation sismique (cf. § 5.3.1.3).

2.3.3.2 Dispositions constructives

Les connecteurs sont fixés conformément aux prescriptions du fabricant pour le support considéré.

On veillera à adapter la longueur des éléments de fixation (clous, vis) aux dimensions de l'élément fixé.

On veillera également à limiter (ou prendre en considération au moment de la conception) l'excentrement de certains connecteurs par rapport à leur position théorique, lié aux variations de planéité ou de position du support (notamment ceux liés aux tolérances de ce dernier).

2.3.3.3 Dimensionnement

On vérifie séparément la capacité portante du connecteur (ou de l'assemblage) et les efforts sur l'élément porté (p.ex. résistance sur appui, cisaillement à l'appui, etc.). La présente section ne traite que du connecteur (ou de l'assemblage).

On veillera à prendre en compte l'éventuel excentrement (cf. § 2.3.3.2) dans la conception et le dimensionnement de l'assemblage, notamment son influence sur le respect des règles de pinces et l'éventuel moment induit.

Les assemblages métal-bois par connecteurs métalliques sous ETE ou AT et vis, boulons, tiges filetées ou broches sont dimensionnés selon la NF EN 1995-1-1, au moyen de la capacité portante caractéristique listée dans l'ETE ou l'AT du connecteur concerné, pour la configuration d'assemblage envisagée.

Les assemblages métal-bois à base de ferrures mécano-soudées sont dimensionnés selon les NF EN 1995-1-1, NF EN 1993-1-1, NF EN 1993-1-8, ainsi que les Recommandations CN2CM pour le dimensionnement des assemblages selon la NF EN 1993-1-8.

Les fixations dans le béton par chevilles métalliques sont en outre dimensionnées selon NF EN 1992-4.

Sauf indication contraire explicite liée au mode de rupture, on applique le coefficient partiel γ_M défini dans l'Annexe nationale de la NF EN 1995-1-1 pour les assemblages.

Lorsque l'assemblage implique une fixation dans un élément à base de bois, le coefficient k_{mod} défini dans la NF EN 1995-

1-1 pour ce matériau s'applique également. Il ne s'applique pas lorsque qu'aucune fixation dans un élément à base de bois n'est présente.

Le facteur d'effet de système k_{sys} définis dans la NF EN 1995-1-1 ne s'applique pas à la capacité portante du connecteur.

La résistance de calcul aux ELU est :

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M}$$

où :

R_d capacité portante de calcul du connecteur

R_k capacité portante caractéristique du connecteur

2.3.4 Autres panneaux à base de bois à usage structural

2.3.4.1 Exigences

Les panneaux à base de bois à usage structural devront notamment :

- être marqués CE selon NF EN 13986 ou NF EN 14374 (ou ETE) ;
- être adaptés à la Classe de Service et la Classe d'Emploi de l'ouvrage en panneaux massifs structuraux bois considéré.

Note : Les panneaux de type CLT de faible épaisseur (p.ex. panneaux « trois-plis ») conformes à la NF EN 16351 peuvent également être utilisés pour la réalisation de liaisons entre panneaux structuraux massifs bois ou d'autres dispositions constructives du présent CPT.

2.3.4.2 Dispositions constructives

Lorsqu'ils sont utilisés pour la réalisation de liaisons entre panneaux structuraux massifs bois ou d'autres dispositions constructives du présent CPT, les panneaux à base de bois sont fixés conformément aux prescriptions du présent CPT ou, à défaut, du DTA ou AT considéré.

On veillera toujours à adapter la longueur des éléments de fixation (clous, vis) aux dimensions de l'élément fixé.

2.4 Disposition constructives communes

2.4.1 Généralités

Lorsque les panneaux structuraux massifs bois sont utilisés pour la réalisation de bâtiments entrant dans le domaine d'application du DTU 31.2, c'est-à-dire d'une manière générale pour les bâtiments dont la structure principale porteuse est en bois, les dispositions non spécifiquement visées dans le cadre du présent document doivent être conformes aux prescriptions du DTU 31.2 pour la conception, et aux prescriptions des Eurocodes pour le calcul.

Lorsque les panneaux structuraux massifs bois sont utilisés pour une ou plusieurs de leurs fonctions, pour la réalisation de bâtiments n'entrant pas dans le domaine d'application du DTU 31.2 (par exemple panneaux utilisés pour réaliser les planchers d'un bâtiment à structure porteuse verticale en béton armé ou en maçonnerie de petits éléments), la réalisation des interfaces doit tenir compte des exigences éventuelles des textes visant les autres éléments porteurs (NF EN 1992, DTU 20.1, etc.). Dans ce cas, la structure porteuse formant support des panneaux structuraux massifs bois devra respecter les exigences de tolérance du support précisées au DTU 31.2.

De manière générale les exigences de tolérance du DTU 31.2 ne préjugent pas d'exigences plus sévères liées aux autres parties d'ouvrage (p.ex. revêtement de façade) ou à l'effet du cumul des tolérances.

2.4.2 Appuis des panneaux structuraux massifs bois

Que ce soit comme élément de plancher ou élément de mur, les panneaux structuraux massifs bois doivent être supportés aux appuis par le dessous (sauf cas particulier), soit en reposant sur le matériau support (appui simple), soit au moyen d'une pièce d'appui qui, elle, fournira le support adéquat (appui sur muraillière, cornière métallique, ferrure mécano-soudée, etc.).

On distingue les appuis (simple ou pièces d'appui) selon la nature du matériau support :

- bois ;
- métal ;
- béton.

Les configurations d'appui usuelles sont décrites ci-après, ainsi que dans les Figure 4 à Figure 8.

De manière générale, la fixation des panneaux structuraux massifs bois au support doit permettre d'assurer l'équilibre statique de la structure et la transmission des efforts verticaux et horizontaux.

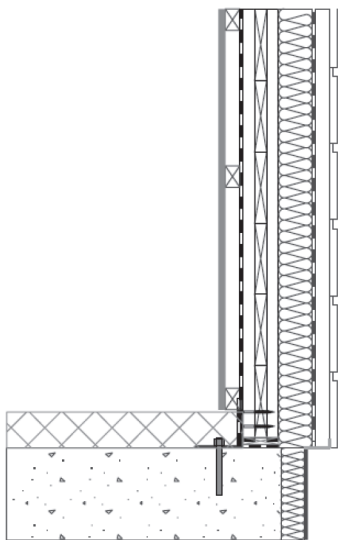


Figure 4 – Appui de mur sur support béton

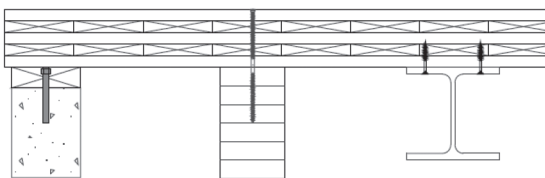


Figure 5 – Appuis usuels de plancher sur support bois, métallique ou béton

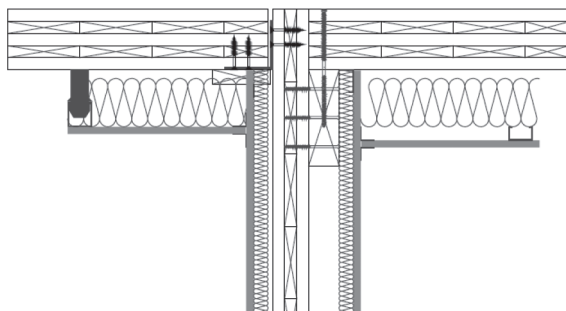


Figure 6 – Appui de panneau de plancher sur pièce d'appui métallique ou bois

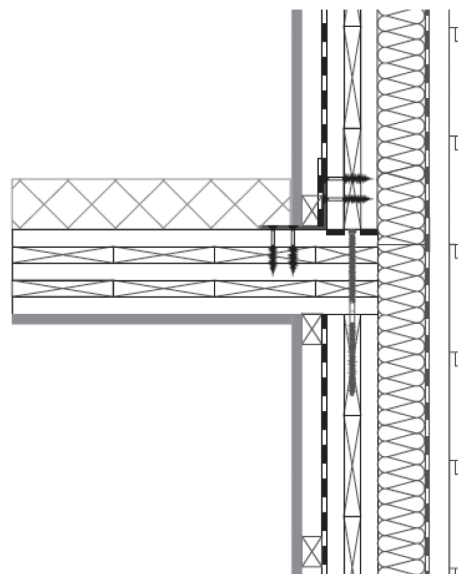


Figure 7 – Appui entre panneaux de mur et de plancher assemblé par équerre métallique

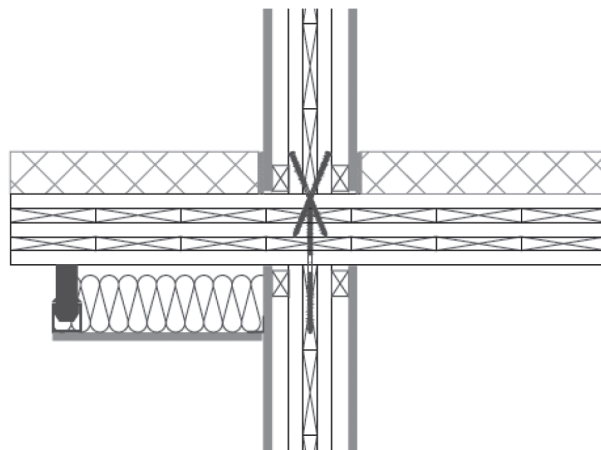


Figure 8 – Appui entre panneaux de mur et de plancher assemblé par vissage

2.4.2.1 Longueur minimale d'appui

Pour un élément de plancher, la longueur d'appui doit permettre, toutes tolérances épuisées, de reprendre les efforts de compression transversale sur appui et de respecter les règles de pince de l'organe d'assemblage du panneau à son support. Sauf justification particulière la longueur minimale d'appui est de 45 mm.

Note : La résistance à la compression transversale sur appui dépend de la longueur d'appui du panneau sur le support.

Un élément de mur doit reposer entièrement sur son support. Un débord de l'élément de mur dans le sens de son épaisseur est possible, et doit être justifié en tenant compte des principes suivants toutes tolérances épuisées :

- à l'appui, seuls les plis verticaux effectivement supportés transfèrent les charges verticales en compression ;
- le pli vertical extérieur non supporté peut être mobilisé dans la justification du flambement (section et inertie) en tenant compte de l'excentrement réel.

Sauf justification particulière, le débord, toutes tolérances épuisées n'excède pas 10 mm ou la demi-épaisseur du pli extérieur (en retenant la plus petite des deux valeurs), sans préjuger d'exigences de tolérances plus sévères liées aux autres parties de l'ouvrage (p.ex. revêtement de façade).

Note : Cette configuration nécessite une attention particulière en situation d'incendie (cf. § 2.9.2 et § 2.9.3).

2.4.2.2 Appui sur support bois

Les panneaux structuraux massifs bois doivent être fixés mécaniquement au support bois à chaque appui au moyen d'organes de fixation ou connecteurs métalliques tels que définis au § 2.3.2 et § 2.3.3 respectivement.

Les configurations d'appui usuelles sur support bois sont décrites en Figure 5 à Figure 8.

2.4.2.3 Appui sur support métallique

Les panneaux structuraux massifs bois doivent être fixés mécaniquement au support métallique à chaque appui au moyen d'organes de fixation tels que définis au § 2.3.2. La fixation métal-bois directe est possible.

Les configurations d'appui usuelles sur support métalliques sont décrites en Figure 5 et Figure 6.

2.4.2.4 Appui sur support béton

Les panneaux structuraux massifs bois doivent être fixés mécaniquement au support béton à chaque appui au moyen :

- de connecteurs métalliques tels que définis au § 2.3.3 ;
- fixés aux panneaux au moyen d'organes de fixation tels que définis au § 2.3.2 ;
- et ancrés au support béton au moyen de chevilles de fixation doivent bénéficier d'une ETE selon l'ETAG 001.

L'appui peut également être réalisé par interposition d'une lisse d'appui en bois ou dérivés du bois, elle-même fixée au support béton, et formant alors pour le panneau un appui sur support bois. La lisse d'appui respecte alors les prescriptions du NF DTU 31.2 pour ce type de pièce, notamment quant aux dispositions relatives à la durabilité.

Le panneau ou la lisse, comme toute pièce de bois, doit être isolé de tout contact direct avec le support béton par une barrière de protection conforme aux prescriptions du NF DTU 31.2 partie 1-2 (CGM) visant les barrières d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires (bande d'arase).

Les configurations d'appui usuelles sur support béton sont décrites en Figure 5 et Figure 6.

Pour les organes de fixation dans les supports béton, la liaison du cône béton d'arrachement de la fixation dans la structure béton doit être assurée avec un ferrailage adapté suivant le schéma bielle-tirant conformément à la NF EN 1992-1-1 et son AN.

2.4.2.5 Calage des éléments

Le calage ponctuel des panneaux (sous lisse d'appui ou directement sous le panneau) peut s'avérer nécessaire, de manière transitoire ou définitive.

On justifie :

- le panneau et le support des cales en tenant compte du caractère ponctuel de ces appuis ;
- la capacité portante et la durabilité des cales.

Note : On veillera à protéger le panneau ainsi que les cales qui le nécessitent (cales bois ou métal par exemple) contre les risques de remontées capillaires (cf. 2.4.2.4).

2.4.3 Assemblage des panneaux entre eux dans un même plan

L'assemblage des panneaux structuraux massifs bois entre eux dans un même plan est réalisé par organe de fixation de type tige à mi-bois, par vissage croisés à 45° ou au moyen d'une ou plusieurs languettes en métal ou en panneaux à base de bois. Leur entraxe est déterminé en fonction des efforts à reprendre, sans excéder 300 mm.

Les panneaux à base de bois utilisés sont en contreplaqué, lamibois (LVL) ou « trois-plis », tels que définis au § 2.3.4.1.

L'épaisseur et la largeur des languettes sont déterminées en fonction des efforts à reprendre et du respect des règles de pince, sans être inférieures respectivement à 12 mm et 120 mm.

De manière générale, la fixation des panneaux structuraux massifs bois entre eux dans un même plan doit permettre d'assurer :

- l'équilibre statique de la structure ;
- la transmission des efforts de diaphragme et de contreventement entre panneaux adjacents (mur et/ou plancher) ;
- la limitation des déformations différentielles entre panneaux de plancher adjacents (pianotage).

Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des charges ponctuelles.

Cette typologie d'assemblage est sensible aux efforts de traction transversale, qui doit être vérifiée, notamment dans le cas d'assemblage entre eux d'éléments de plancher.

L'assemblage entre panneaux peut être renforcé en surface du panneau par un plat métallique pour la reprise des efforts de cisaillement (diaphragme et contreventement).

Le choix des organes de fixation doit en outre satisfaire aux dispositions du § 2.3.2. Seules les pointes non lisses sont admises.

2.4.3.1 Assemblage par languette en simple cisaillement

Cet assemblage est réalisé au moyen d'une languette assemblée dans une feuillure réalisée en atelier sur une face des panneaux. La languette peut également être posée sur les panneaux, sans feuillure.

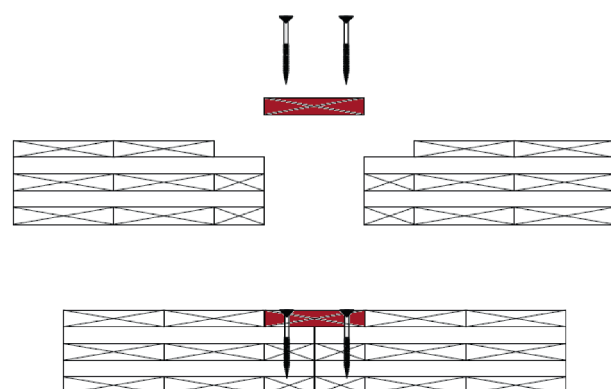


Figure 9 – Assemblage par languette en simple cisaillement

2.4.3.2 Assemblage par deux languettes en simple cisaillement

Cet assemblage est réalisé au moyen de deux languettes assemblées symétriquement sur les deux faces des panneaux dans lesquels des feuillures ont été réalisées en atelier.

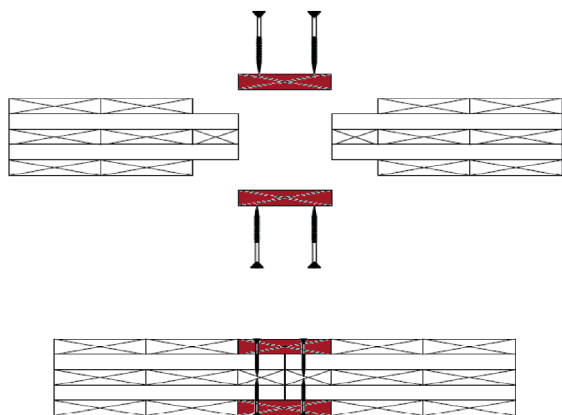


Figure 10 – Assemblage par deux languettes en simple cisaillement

2.4.3.3 Assemblage par languette en double cisaillement

Cet assemblage est réalisé au moyen d'une languette insérée dans une rainure réalisée dans les panneaux en atelier. Cette languette est ensuite fixée.

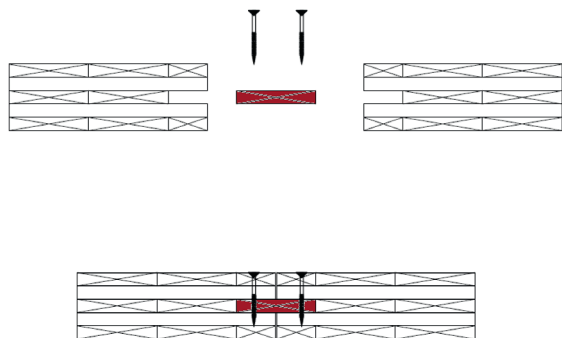


Figure 11 – Assemblage par languette en double cisaillement

2.4.3.4 Assemblage à mi-bois

Cet assemblage est réalisé par vissage direct des deux panneaux entre eux préalablement usinés d'une découpe longitudinale à mi-bois en atelier sur les faces en opposition des panneaux à assembler.

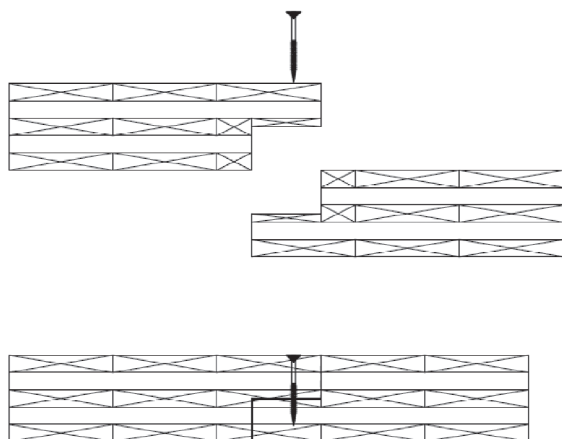


Figure 12 – Assemblage à mi-bois

2.4.4 Assemblage de panneaux en angle (entre murs, mur-plancher)

L'assemblage des panneaux structuraux massifs bois entre eux en angle (assemblage d'angles de murs ou entre mur et plancher) est réalisé

- par vissage direct entre les panneaux ;
- au moyen de clés vissées aux panneaux ;
- au moyen de connecteurs métalliques tridimensionnels, plats, ou en âme ;
- par l'intermédiaire d'une pièce d'appui (muraille ou cornière métallique) elle-même vissée aux panneaux.

De manière générale, la fixation des panneaux structuraux massifs bois entre eux dans un même plan doit permettre d'assurer :

- l'équilibre statique de la structure ;
- la transmission des efforts de diaphragme et de contre-ventement entre panneaux assemblés (mur-mur et/ou mur-plancher) ;
- la limitation des déformations différentielles entre étages.

Le choix des organes de fixation et des connecteurs métalliques doit en outre satisfaire aux dispositions du § 2.3.2 et § 2.3.3 respectivement.

Les ancrages à un support béton sont réalisés au moyen de chevilles de fixation bénéficiant d'une ETE selon l'ETAG 001.

2.4.4.1 Assemblage par vissage direct à chant

Cet assemblage est réalisé par vissage direct d'un panneau sur l'autre, la vis pénétrant le panneau cible à chant (dans l'épaisseur du panneau).

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice versa.

Du fait du vissage à chant (dans l'épaisseur) du panneau cible, qui induit un possible vissage en bois de bout dans les plis transversaux, seules les vis bénéficiant d'une ETE visant la fixation en bois de bout dans un panneau structural massif bois sont admises.

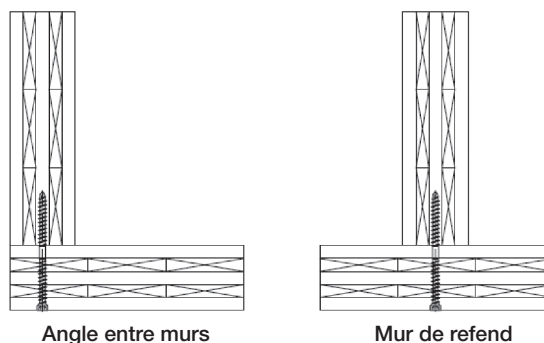


Figure 13 – Assemblage par vissage direct à chant

2.4.4.2 Assemblage par vissage direct lardé

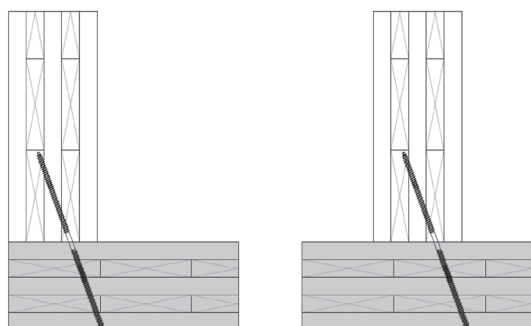
Dans certains cas (p.ex. lorsqu'un vissage à 90° n'est pas possible ou lorsqu'une augmentation de résistance de l'assemblage est recherchée) l'assemblage peut être réalisé par vissage direct lardé d'un panneau sur l'autre, la vis pénétrant alors le panneau cible à un angle différent de 90°.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice versa.

Du fait de la multiplicité des plis traversés par la vis, et de l'angle de vissage particulier, seules les vis bénéficiant d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois sont admises.

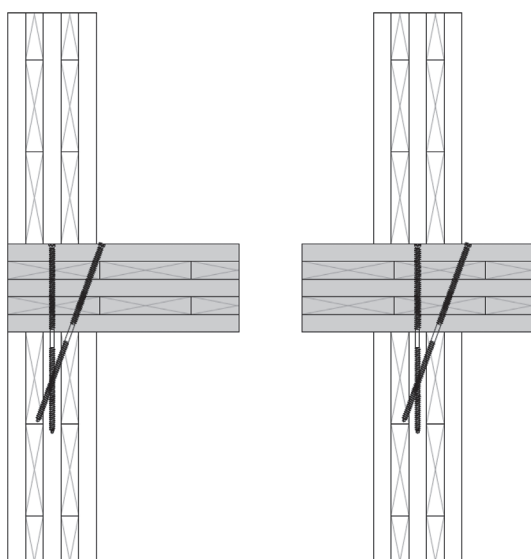
Note : La résistance de la vis étant sensible à la variation de l'angle de mise en œuvre, l'utilisation d'un gabarit de vissage est recommandée. À défaut, le calcul de la résistance devra prendre en compte cette variation.



Angle entre murs

Mur de refend

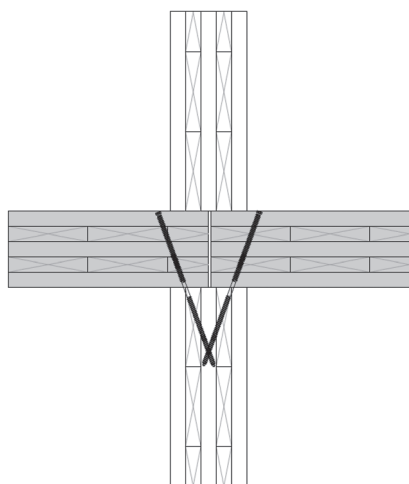
Figure 14 – Assemblage entre murs par vissage direct lardé



Plancher sur mur extérieur

Plancher sur mur de refend

Figure 15 – Assemblage mur-plancher par vissage direct lardé



About de 2 panneaux de plancher sur mur de refend

Figure 16 – Assemblage mur-plancher par vissage direct lardé

2.4.4.3 Assemblage par clés et vis

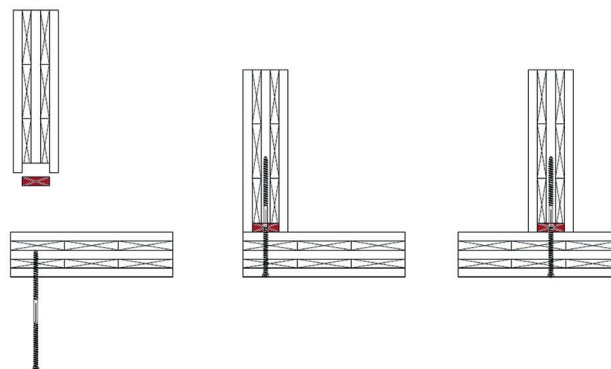
Cet assemblage est réalisé au moyen d'une languette en panneau à base de bois préalablement vissée sur le panneau transversal, avant le vissage direct à chant (dans l'épaisseur du panneau).

Les panneaux à base de bois utilisés sont en contreplaqué, lamibois (LVL) ou « trois-plis », tels que définis au § 2.3.4.1.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice versa.

Du fait de la multiplicité des plis traversés et du vissage à chant (dans l'épaisseur) du panneau cible, qui induit un possible vissage en bois de bout dans les plis transversaux, seules les vis bénéficiant d'une ETE visant la fixation en bois de bout dans un panneau structural massif bois sont admises.



Angle entre murs

Mur de refend

Figure 17 – Assemblage par clés et vis

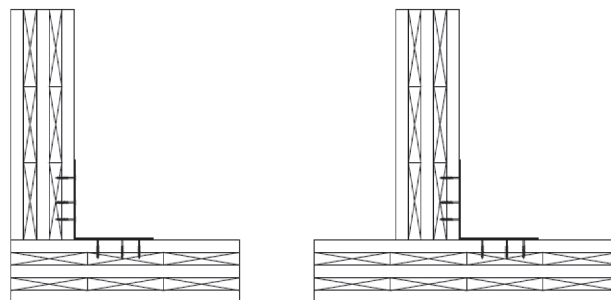
2.4.4.4 Assemblage par connecteurs tridimensionnels

Cet assemblage peut être réalisé au moyen d'éléments du commerce ou de ferrures mécano-soudées qui satisfont aux dispositions du § 2.3.3. Un usinage peut être réalisé afin d'éviter une sur épaisseur et protéger la ferrure par un élément bois rapporté.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice versa.

Le choix de l'organe de fixation est fait conformément aux dispositions du § 2.3.2 selon le nombre de plis traversés par l'organe de fixation, incluant le plan de cisaillement métal-bois.



Angle entre murs

Mur de refend

Figure 18 – Assemblage entre murs par connecteurs tridimensionnels

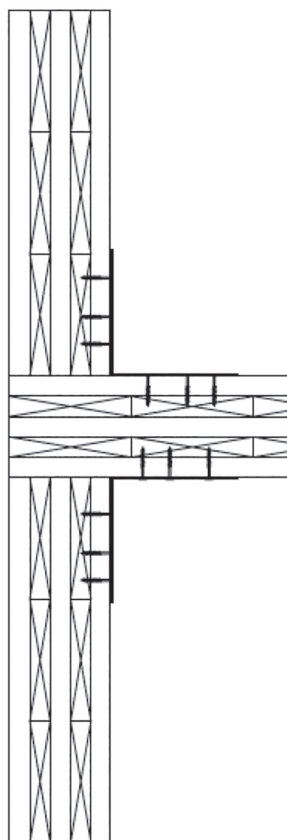


Figure 19 – Assemblage mur-plancher par connecteurs tridimensionnels

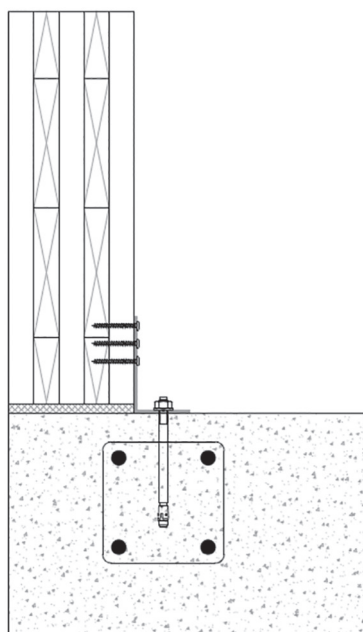


Figure 20 – Assemblage mur-support béton par connecteurs tridimensionnels

Dans le cas d'un assemblage sur un support béton, le panneau doit être isolé de tout contact direct avec le support béton par une barrière de protection conforme aux prescriptions du NF DTU 31.2 partie 1-2 (CGM) visant les barrières d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires (bande d'arase).

2.4.4.5 Assemblage par muraille bois ou cornière métallique vissée

Cet assemblage est réalisé au moyen d'une poutre muraille en bois ou dérivé du bois ou d'une cornière métallique préalablement vissée sur le panneau de mur transversal, avant le vissage du panneau de plancher sur cette même pièce d'appui.

Ce type d'assemblage est usuellement limité à l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur (dans cet ordre).

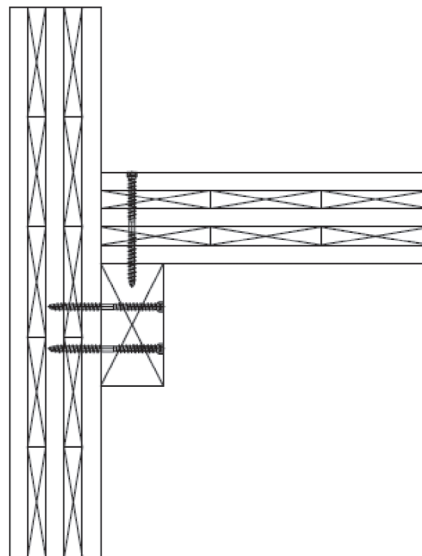


Figure 21 – Assemblage par muraille bois vissée

Du fait de la multiplicité des plis traversés par la vis, seules les vis bénéficiant d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois sont admises.

Ce type d'assemblage peut également être réalisé sur support béton. Dans ce cas :

- la muraille (ou cornière métallique) est ancrée dans le support béton au moyen de chevilles de fixation ;
- la muraille bois comme le panneau doivent être isolés de tout contact direct avec le support béton par une barrière de protection conforme aux prescriptions du NF DTU 31.2 partie 1-2 (CGM) visant les barrières d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires (bande d'arase).

2.4.4.6 Assemblage métal-bois par plats métalliques

Cet assemblage peut être réalisé au moyen d'éléments du commerce ou de ferrures mécano-soudées qui satisfont aux dispositions du § 2.3.3. Un usinage peut être réalisé afin d'éviter une sur épaisseur et protéger la ferrure par un élément bois rapporté.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'ancrage d'éléments de murs sur support béton.

Le choix de l'organe de fixation est fait conformément aux dispositions du § 2.3.2 selon le nombre de plis traversés par l'organe de fixation, incluant le plan de cisaillement métal-bois.

Ce type d'assemblage peut également être réalisé sur support béton. Dans ce cas :

- le plat métallique est ancrée dans le support béton au moyen de chevilles de fixation ;
- le panneau doit être isolé de tout contact direct avec le support béton par une barrière de protection conforme aux prescriptions du paragraphe 6.1 du NF DTU 31.2 partie 1-2 (CGM) visant les barrières d'étanchéité vis-à-vis des remontées capillaires (bande d'arase).



**Figure 22 – Assemblage métal-bois
par plats métalliques sur support béton**

2.4.4.7 Assemblage bois-métal par plaques métalliques en âmes

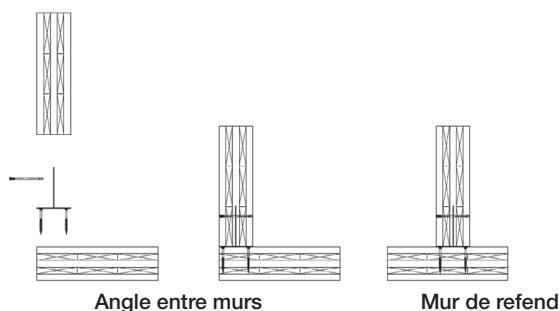
Cet assemblage est réalisé au moyen d'un connecteur métallique à plaque en âme préalablement vissé sur le panneau transversal (ou support), inséré dans une feuillure préalablement réalisée en atelier dans le panneau à fixer, avant le vissage transversal au panneau cible.

Ce type d'assemblage est possible pour :

- l'assemblage d'éléments de murs entre eux ;
- l'assemblage d'élément de plancher sur un élément de mur et vice-versa.

Cet assemblage peut être réalisé au moyen d'éléments du commerce ou de ferrures mécano-soudées qui satisfont aux dispositions du § 2.3.3.

Le choix de l'organe de fixation est fait conformément aux dispositions du § 2.3.2 selon le nombre de plis traversés par l'organe de fixation, incluant le plan de cisaillement métal-bois.



**Figure 23 – Assemblage bois-métal entre murs
par plaques métalliques en âmes**

2.4.4.8 Assemblage combinant plusieurs solutions

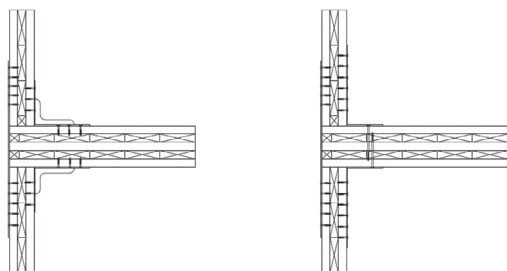


Figure 24 – Plaque + équerres

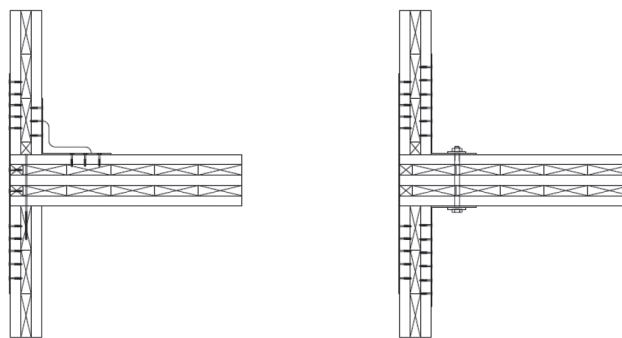


Figure 25 – Ancrages plus équerres

2.4.5 Ouvertures, chevêtres, linteaux

2.4.5.1 Ouvertures dans les planchers

Les dispositions relatives aux ouvertures et trémies dans les ouvrages de plancher en panneaux structuraux massifs bois sont décrites au § 3.3.7 du présent document.

2.4.5.2 Ouvertures dans les murs

Les dispositions relatives aux ouvertures dans les ouvrages de mur en panneaux structuraux massifs bois sont décrites au § 4.3.5 du présent document.

2.5 Dimensionnement – Dispositions communes à tous les types de panneau

Les dispositions décrites ci-après sont communes au dimensionnement des panneaux structuraux massifs bois dans les diverses applications.

On se reportera :

- au § 3.3 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de plancher ;
- au § 4.3 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de mur ;
- au § 5 pour les dispositions particulières relatives à l'utilisation en zone sismique.

2.5.1 Principe

Les panneaux structuraux massifs bois peuvent être soumis à un chargement dans leur plan (charge verticale d'un mur, linteau, diaphragme) et/ou hors plan (plancher, vent normal).

Le dimensionnement s'effectue selon les principes de la NF EN 1995-1-1 en tenant compte des dispositions spécifiques du présent document.

La modélisation de l'élément en panneau structural massif bois doit prendre en compte notamment :

- l'influence de la composition du panneau (épaisseur, matériau et orientation des plis), des joints entre chants, des éventuelles rainures sur les propriétés mécaniques du panneau ;
- l'influence de la distribution des charges, du système statique et de la composition du panneau sur la distribution des contraintes et les déformations ;
- l'effet de concentrations de contraintes localisées (p.ex. résistance sur appui, assemblages, charges concentrées, etc.) ;
- l'effet des ouvertures et trémies ;

- le cas échéant les contraintes internes (p.ex. la torsion des plans de collage), le cisaillement de bloc des assemblages.

Pour déterminer la répartition des contraintes et des efforts internes, il est nécessaire de prendre en compte l'influence des déformations dues au cisaillement.

La méthode de modélisation des éléments en panneau structural massif bois est précisée dans le DTA ou l'AT du panneau. En particulier, les paramètres de modélisation en treillis de poutres ou par la méthode des éléments finis doivent être détaillés dans le DTA ou l'AT.

En l'absence de méthode définie dans le DTA ou l'AT, la méthode du présent document peut être utilisée, s'appuyant sur les principes suivants :

- les plis transversaux fonctionnent comme des liaisons entre les plis longitudinaux dont la raideur de glissement est prise en compte en généralisant la méthode des γ de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1 ;
- la distribution des contraintes et les déformations peuvent alors être déterminées à partir de la rigidité efficace en flexion tenant compte de cette raideur de glissement ;
- le module d'élasticité perpendiculaire au fil du bois (d'une lame ou d'un pli) doit être considéré comme nul, $E_{90,mean,i} = 0$;
- il en résulte que les contraintes de flexion ne sont considérées que pour les plis dont les lames sont orientées dans la même direction que le fil du bois des couches considérées ;
- de même les contraintes normales induites par l'effet des actions agissant dans le plan du panneau sont calculées en négligeant des plis orientés perpendiculairement à ces actions ;
- on calcule alors la contrainte normale en utilisant la section nette des plis mobilisables et l'inertie effective des panneaux.

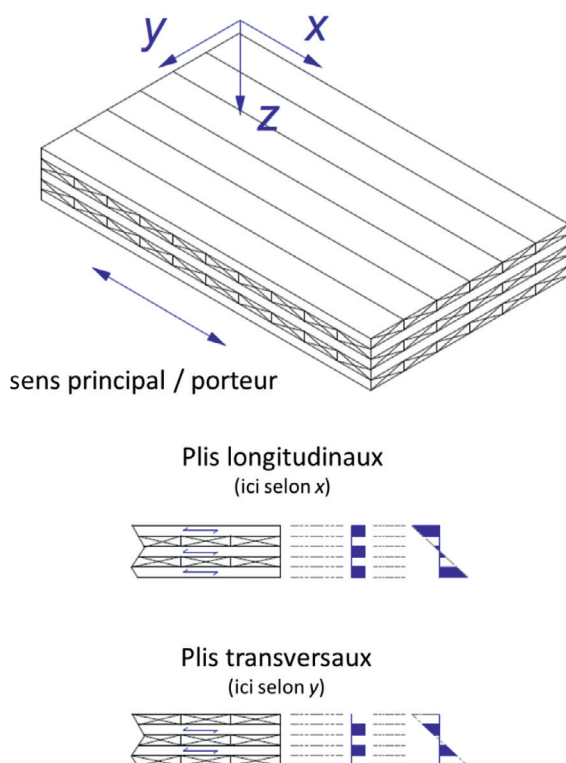


Figure 26 – Définition des directions porteuses sous sollicitation hors plan (perpendiculaire au panneau)

Pour le dimensionnement des panneaux soumis à un chargement hors plan, il est possible de prendre comme modèle des éléments de 1 m de large auxquels on applique la théorie des poutres.

Les éléments sont alors considérés comme appuyés simplement à leurs extrémités et sur les appuis intermédiaires. La longueur effective est la distance entre les milieux de deux appuis consécutifs.

Les panneaux structuraux massifs bois eux-mêmes permettent la reprise locale de flexion transversale (sens perpendiculaire au fil des plis externes) notamment dans les configurations suivantes :

- trémies ;
- porte-à-faux ;
- panneau effectivement appuyé sur plus de deux côtés (les appuis pouvant être continus ou ponctuels).

Compte tenu de l'impossibilité qu'il y a à transmettre des moments entre panneaux adjacents au moyen des assemblages courants (cf. § 2.4.3), les planchers composés de plusieurs panneaux adjacents doivent être conçus et mis en œuvre de manière à fonctionner en flexion sur deux appuis et non pas sur quatre côtés.

Lorsque les panneaux structuraux massifs bois utilisés comme planchers porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. § 3.3.7).

Lorsque les panneaux structuraux massifs bois utilisés comme mur sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant linteau et appuis doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. § 4.3.5).

Le dimensionnement aux ELU est réalisé en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges définis au § 2.1.5, ainsi que le coefficient partiel sur les matériaux γ_M défini au § 2.1.4.

Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage par le coefficient k_{def} défini au § 2.1.6.

Les revêtements supplémentaires appliqués sur l'un des côtés des panneaux uniquement – notamment des couches de planches additionnelles qui en résultent – ne doivent pas être pris en compte dans les calculs.

2.5.2 Données

Les dimensions et propriétés des plis et panneaux sont décrites au § 1.1.2 ainsi que dans les paragraphes spécifiques du présent document dédié à l'une d'entre elle (p.ex. coefficient partiel du matériau).

Par convention, tout effort ou sollicitation (caractéristique ou de calcul) mentionné correspond à l'effort ou la sollicitation maximale selon les diverses configurations et combinaisons d'actions applicables.

Sauf indication contraire, les notations (usuelles) suivantes sont utilisées concernant les efforts agissants :

M	moment fléchissant
V	effort tranchant ou de contreventement
N	effort normal
N_n	effort de cisaillement sur une pointe de panneau massif cloué
F	force ou effort concentré (compression, contreventement, etc.)

Toute donnée ou grandeur non listée au § 1.1.2 ou dans un paragraphe spécifique lui étant dédié est précisée au moment de son utilisation dans une équation de ce document. En l'absence d'une telle précision, la définition à retenir est celle de l'Eurocode correspondant.

2.5.3 Charges

Les charges appliquées sont déterminées à partir des conditions du projet et des normes suivantes :

- NF EN 1991-1-1 et son Annexe Nationale pour les charges permanentes et charges d'exploitation
- NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale pour les charges de neige
- NF EN 1991-1-4 et son Annexe Nationale pour les actions du vent
- NF EN 1991-1-6 et son Annexe nationale pour les actions durant l'exécution
- NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale pour les actions sismiques

Les combinaisons de charges prises en compte sont celles définies dans la NF EN 1990 et son Annexe Nationale, complétées des prescriptions de la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale.

Les charges permanentes devront pour certaines vérifications être scindées en deux fractions, définies comme suit :

- Charge permanente initiale G_0 : la fraction des charges permanentes induites par le poids propre de la structure porteuse primaire, ainsi que par le poids propre des éléments présents avant les éléments de second-œuvre.
- Charge permanente de second-œuvre G_1 : la fraction des charges permanentes induites par le poids propre des éléments de second-œuvre (plafond, revêtement de sol).

La charge uniformément répartie pour les cloisons légères fixes définies dans NF EN 1991-1-1, § 5.2.2(2) et § 6.3.1.2(8) est usuellement considérée comme charge de second-œuvre, sauf lorsque l'on peut être certain que lesdites cloisons seront installées avant les éléments de second-œuvre.

2.5.4 Réduction des charges contribuant à l'effort tranchant aux appuis

Dans le cas des panneaux structuraux massifs bois, l'applicabilité de la réduction des charges contribuant à l'effort tranchant selon les dispositions du § 6.1.7(3) de la NF EN 1995-1-1/A1 est précisée par l'ETE ou l'Avis Technique.

Dans le cas contraire, ou en l'absence d'éléments permettant de justifier de leur applicabilité dans le cadre d'un DTA ou Avis Technique, les dispositions du § 6.1.7(3) de la NF EN 1995-1-1/A1 ne s'appliquent pas.

2.5.5 Facteur d'effet de système k_{sys}

Usuellement, l'effet de système est déjà pris en compte dans la détermination des propriétés des panneaux structuraux massifs bois.

Par conséquent, et sauf disposition contraire qui devra être précisée dans l'ETE, le DTA ou l'AT du panneau, le facteur d'effet de système k_{sys} de la NF EN 1995-1-1 ne s'applique pas ($k_{sys} = 1$).

2.5.6 Facteur de correction de la résistance au cisaillement du bois k_{cr}

Usuellement, le facteur k_{cr} est déjà pris en compte dans la détermination des propriétés des panneaux CLT. En outre, le risque de fissures des plis longitudinaux extérieurs (surface du panneau) sont limités par la contribution des plis transversaux adjacents, du fait de l'assemblage collé.

Ceci n'est usuellement pas le cas pour les panneaux massifs cloués.

Par conséquent, et sauf disposition contraire qui devra être précisée dans l'ETE, le DTA ou l'AT du panneau :

- le facteur k_{cr} de la NF EN 1995-1-1 ne s'applique pas aux panneaux CLT ($k_{cr} = 1,0$) ;
- le facteur k_{cr} de la NF EN 1995-1-1 s'applique aux panneaux massifs cloués.

2.5.7 Configurations de chargement

Dans le cas de portées multiples, par application du principe de mobilité des charges variables (exploitation, neige, vent) dans le but de déterminer les configurations les plus défavorables, on vérifie notamment les configurations de chargement suivantes :

- pour deux portées et plus :
 - chargement alterné des portées paires ;
 - chargement alterné des portées impaires.
- pour trois portées et plus :
 - chargement adjacent des portées 1/2, 5/6, etc. ;
 - chargement adjacent des portées 2/3, 6/7, etc. ;
 - chargement adjacent des portées 3/4, 7/8, etc. ;
 - chargement adjacent des portées 1, 4/5, etc.

Dans tous les cas, il est de la responsabilité du concepteur de définir et vérifier l'ensemble des configurations de chargement applicables dans les conditions du projet.

Un porte-à-faux doit être considéré comme une portée au regard de l'ensemble des configurations décrites précédemment.

Ces configurations de chargement sont vérifiées aux ELU et aux ELS.

2.5.8 Vérifications à l'ELU instantané

Certaines vérifications diffèrent selon le type de panneau structural massif bois. Il convient de se référer :

- au § 2.6 pour les panneaux CLT ;
- au § 2.7 pour les panneaux massifs cloués.

En outre, d'autres vérifications dépendent de l'application (mur ou plancher) et sont par conséquent précisées :

- au § 3.3 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de plancher ;
- au § 4.3 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de mur.

Notamment, le cisaillement et la compression transversale sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon les principes énoncés respectivement dans le § 3.3.2 et le § 3.3.3.

2.5.9 Vérifications à l'ELU final

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Pour une combinaison d'actions pour laquelle chaque action appartient à une classe de durée de chargement différente, la contribution de chaque action doit être calculée séparément en utilisant le coefficient $\psi_2 \cdot k_{def}$ approprié, puis additionnées pour les vérifications.

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$$

$$G_{r,mean,fin} = \frac{G_{r,mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$$

$$G_{xy,mean,fin} = \frac{G_{xy,mean}}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}$$

où :

ψ_2 est défini dans l'Annexe Nationale de la NF EN 1990 ;
 $\psi_2 = 1,0$ pour les charges permanentes

$G_{r,mean}$ le module de cisaillement roulant moyen du panneau CLT

$G_{xy,mean}$ le module de cisaillement moyen du panneau CLT ou des planches du panneau massif cloué

2.5.10 Vérifications ELS

2.5.10.1 Caractéristiques mécaniques ELS Instantané (charge à court terme – instantanées)

Il convient de considérer la rigidité efficace en flexion déterminée aux § 2.6.1 et § 2.7.1.

2.5.10.2 Caractéristiques mécaniques ELS Final (charge à long terme – permanentes)

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Pour une combinaison d'actions pour laquelle chaque action appartient à une classe de durée de chargement différente, la contribution de chaque action doit être calculée séparément en utilisant le coefficient k_{def} approprié, puis additionnées pour les vérifications.

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{1 + k_{def}}$$

$$G_{r,mean,fin} = \frac{G_{r,mean}}{1 + k_{def}}$$

$$G_{xy,mean,fin} = \frac{G_{xy,mean}}{1 + k_{def}}$$

où :

$G_{r,mean}$ le module de cisaillement roulant moyen du panneau CLT

$G_{xy,mean}$ le module de cisaillement moyen du panneau CLT ou des planches du panneau massif cloué

2.5.10.3 Vérifications de flèche

Les vérifications des flèches doivent être menées en considérant d'une part la flèche générée par le moment fléchissant en considérant la rigidité efficace du panneau et d'autre part la flèche générée par l'effort tranchant en considérant le module de cisaillement du panneau.

Les vérifications de flèches complémentaires spécifiques aux panneaux massifs cloués sont précisées au § 2.7.3

Les vérifications des flèches dépendent de l'application (mur ou plancher) et sont par conséquent précisées :

- au § 3.3.5 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de plancher ;
- au § 4.3.5 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de mur.

2.5.10.4 Vérification du critère vibratoire

Cette vérification est traitée au § 3.3 (dispositions particulières relatives aux ouvrages de plancher).

2.5.11 Calcul des déformations

En application de ce qui précède, les vérifications des flèches doivent être menées en considérant d'une part la déformation générée par le moment fléchissant en considérant la rigidité efficace du panneau structural massif bois et d'autre part la déformation générée par l'effort tranchant en considérant le module de cisaillement du panneau.

Dans ce qui suit on notera :

$w_{[Q],m}$ déformation due à la flexion instantanée sous charge [Q]

$w_{[Q],v}$ déformation due au tranchant instantanée sous charge [Q]

k_{def} coefficient de fluage du panneau

$\psi_{0,[Q]}$ coefficient partiel de combinaison caractéristique de la charge [Q] selon NF EN 1990 et son Annexe Nationale

$\psi_{2,[Q]}$ coefficient partiel de combinaison quasi-permanente de la charge [Q] selon NF EN 1990 et son Annexe Nationale

Pour la charge [Q] on distinguera :

G_0 charge permanente initiale (cf. § 2.5.3)

G_1 charge permanente de second-œuvre (cf. § 2.5.3)

$G = G_0 + G_1$ = charge permanente totale

Q_1 charge variable principale (NF EN 1990)

Q_2 charge variable d'accompagnement (NF EN 1990)

2.5.11.1 Déformation à long terme – w_{fin} et $w_{net,fin}$

On calcule la déformation totale à long terme w_{fin} comme suit :

$$w_{fin} = (w_{G,m} + w_{G,v}) * (1 + k_{def}) + (w_{Q1,m} + w_{Q1,v}) * (1 + \psi_{2,Q1} * k_{def}) + (w_{Q2,m} + w_{Q2,v}) * (\psi_{0,Q2} + \psi_{2,Q2} * k_{def})$$

Note : Lorsqu'il n'y a pas de contreflèche de fabrication :
 $w_{net,fin} = w_{fin}$

2.5.11.2 Déformation instantanée – w_{inst} ou $w_{Q,inst}$

On calcule la déformation totale instantanée w_{inst} comme suit :

$$w_{inst} = (w_{G,m} + w_{G,v}) + (w_{Q1,m} + w_{Q1,v}) + \psi_{0,Q2} * (w_{Q2,m} + w_{Q2,v})$$

et la déformation instantanée sous charges variables seule :

$$w_{Q,inst} = (w_{Q1,m} + w_{Q1,v}) + \psi_{0,Q2} * (w_{Q2,m} + w_{Q2,v})$$

2.5.11.3 Déformation des éléments de second-œuvre (flèche active) – $w_{d2,fin}$

La « flèche active » des planchers pouvant nuire à l'intégrité des éléments de second-œuvre et notamment des cloisons et revêtements de sols fragiles comporte :

- les déformations instantanées dues aux charges permanentes mises en œuvre après les éléments fragiles,
- les déformations différées sous l'action de toutes les charges permanentes y compris le poids propre du plancher et celles mises en œuvre après les éléments fragiles,
- les déformations totales à long terme dues à la part quasi-permanente des charges d'exploitation.

On calcule la déformation totale à long terme sur les éléments de second-œuvre $w_{d2,fin}$ comme suit :

$$w_{d2,fin} = (w_{G1,m} + w_{G1,v}) + (w_{G,m} + w_{G,v}) * k_{def} + (w_{Q1,m} + w_{Q1,v}) * (1 + \psi_{2,Q1} * k_{def}) + (w_{Q2,m} + w_{Q2,v}) * (\psi_{0,Q2} + \psi_{2,Q2} * k_{def})$$

Note : $w_{d2,fin} = w_{fin} - (w_{G0,m} + w_{G0,v})$

Il convient de porter une attention particulière au séquençage des travaux et notamment au moment de la mise en œuvre des cloisons légères pour la détermination des charges permanentes mises en œuvre après les éléments fragiles.

2.5.12 Déformations cumulées

Lors du dimensionnement il convient de porter une attention particulière à l'effet cumulé notamment :

- de la compression transversale sous effet des charges gravitaires ;
- des variations dimensionnelles (tassement, évolution du taux d'humidité en service,) ;
- du fluage et des déformations différentielles.

2.6 Dimensionnement – Dispositions communes aux panneaux CLT

2.6.1 Calcul de la rigidité efficace des panneaux de type CLT

La rigidité efficace est calculée en utilisant la théorie des poutres composites en flexion (méthode des γ) de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1 et en tenant compte de la raideur de glissement de cisaillement des plis transversaux agissant comme liaison entre les plis longitudinaux.

À cet effet, on substitue au terme $\frac{K_i}{S_i}$ de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1 le terme $\frac{G_{r,i,j} \cdot B}{t_{i,j}}$

où :

$G_{r,i,j}$ module de cisaillement roulant du pli transversal situé entre les plis i et j [N/mm²]
 B largeur de l'élément [mm]
 $t_{i,j}$ épaisseur du pli transversal situé entre les plis i et j [mm]

Note : On peut prendre comme modèle un élément de largeur $B = B_u = 1 \text{ m}$.

2.6.1.1 Panneaux de type CLT avec 3 ou 5 plis

Dans le cas de panneaux structuraux massifs bois avec 3 respectivement 5 plis, on définit les plis (numérotation et épaisseurs) comme précisé en Figure 27 respectivement en Figure 28.

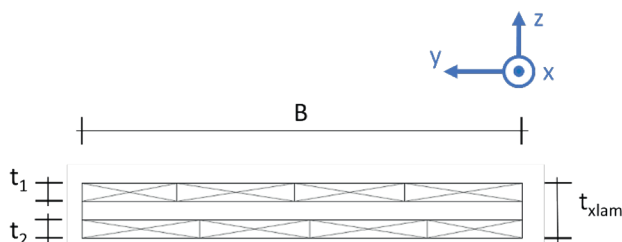


Figure 27 – Coupe transversale d'un panneau 3 plis

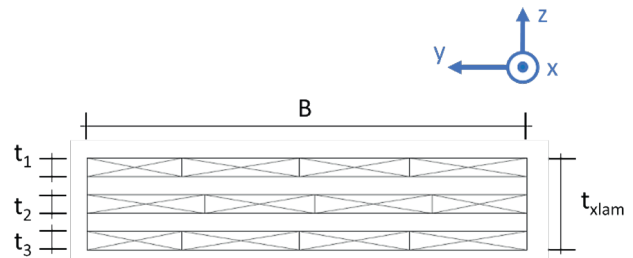


Figure 28 – Coupe transversale d'un panneau 5 plis

Il convient que la rigidité efficace en flexion soit prise selon :

$$EI_{ef} = E_{flat,mean} \cdot I_{ef}$$

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^3 (I_i + \gamma_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

avec :

$$A_i = B \cdot t_i$$

$$I_i = \frac{B \cdot t_i^3}{12}$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_i = \left[1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{flat,mean,i} \cdot A_i \cdot \bar{t}_i}{L^2 \cdot G_{r,mean,i} \cdot B} \right]^{-1} \text{ pour } i = 1 \text{ et } i = 3$$

$$a_1 = \left(\frac{t_1}{2} + \bar{t}_1 + \frac{t_2}{2} \right) - a_2$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot A_1 \cdot \left(\frac{t_1}{2} + \bar{t}_1 + \frac{t_2}{2} \right) - \gamma_3 \cdot A_3 \cdot \left(\frac{t_2}{2} + \bar{t}_2 + \frac{t_3}{2} \right)}{\sum_{i=1}^3 (\gamma_i \cdot A_i)}$$

$$a_3 = \left(\frac{t_2}{2} + \bar{t}_2 + \frac{t_3}{2} \right) + a_2$$

et où :

$E_{flat,mean,i}$ module d'élasticité moyen à plat du pli i

$G_{r,mean,i}$ module de cisaillement roulant moyen du pli i

B largeur du panneau

t_i épaisseur du pli i

L portée de référence (Annexe B – NF EN 1995-1-1)

2.6.1.2 Panneaux de type CLT avec plus de 5 plis

Il est possible de généraliser la méthode précédente et de déterminer les valeurs de γ_i pour toute composition symétrique de panneau de type CLT.

Les coefficients γ_i pour un panneau avec m plis travaillants s'obtiennent en résolvant l'équation matricielle suivante :

$$\begin{pmatrix} V_{1,1} & V_{1,2} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ V_{2,1} & V_{2,2} & V_{2,3} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & V_{3,2} & V_{3,3} & V_{3,4} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & V_{4,3} & V_{4,4} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & V_{m,m-1} & V_{m,m} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \\ \vdots \\ \gamma_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ \vdots \\ s_m \end{pmatrix}$$

avec :

$$V_{1,1} = (C_{1,2} + D_1) \cdot a_1$$

...

$$V_{j,j+1} = -C_{j,j+1} \cdot a_{j+1}$$

$$V_{j,j} = (C_{j-1,j} + C_{j,j+1} + D_j) \cdot a_j$$

$$V_{j+1,j} = -C_{j,j+1} \cdot a_j$$

...

$$V_{m,m} = (C_{m-1,m} + D_m) \cdot a_m$$

où la raideur équivalente du pli i tenant compte des glissements entre les plis travaillants est :

$$S_i = -C_{i,j+1} \cdot (a_{i+1} - a_i) + C_{i-1,i} \cdot (a_i - a_{i-1})$$

la raideur du pli transversal entre les plis longitudinaux j et k est :

$$C_{j,k} = \frac{G_{r,j,k} \cdot B}{t_{j,k}}$$

la raideur du pli longitudinal travaillant i est :

$$D_i = \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{flat,mean},i} \cdot B \cdot t_i}{L^2}$$

avec :

j,k	pli transversal entre les plis longitudinaux j et k
t_i	l'épaisseur du pli longitudinal i
$t_{j,k}$	l'épaisseur du pli transversal entre les plis longitudinaux j et k
a_i	distance entre l'axe médian d'un pli longitudinal i et le centre de gravité de la section d'un panneau
L	portée de référence (Annexe B – NF EN 1995-1-1)
$G_{r,j,k}$	module de cisaillement roulant du pli transversal situé entre les plis longitudinaux j et k
$E_{\text{flat,mean},i}$	module d'élasticité moyen du pli longitudinal i

2.6.2 Vérifications à l'ELU instantané

2.6.2.1 Vérification des contraintes normales et de flexion

Les contraintes normales (ici de traction) et de flexion dans le pli travaillant i (ici un pli parallèle aux plis extérieurs) sont prises selon :

$$\sigma_{t,0,x,d}^i = \frac{\gamma_i \cdot a_i \cdot M_d}{I_{\text{ef},x}}$$

$$\sigma_{m,x,d}^i = \frac{0,5 \cdot t_i \cdot M_d}{I_{\text{ef},x}}$$

On vérifie la traction et flexion combinée dans le pli travaillant i (ici un pli parallèle aux plis extérieurs) :

$$\sigma_{t,x,d}^i + \sigma_{m,x,d}^i = (\gamma_i \cdot a_i + 0,5 \cdot t_i) \cdot \frac{M_d}{I_{\text{ef},x}} \leq f_{m,x,d}$$

Note : Les facteurs d'ajustement k_h de la résistance caractéristique en flexion et en traction définis dans NF EN 1995-1-1, § 3.2(3) ne s'appliquent pas aux panneaux massifs structuraux bois.

2.6.2.2 Vérification du cisaillement roulant pour les panneaux de type CLT

De manière sécuritaire, on vérifie uniquement le cisaillement roulant, plus défavorable que le cisaillement longitudinal.

Le coefficient k_{or} défini dans NF EN 1995-1-1, § 6.1.7(2) est pris égal à 1,0 pour les panneaux de type CLT.

On vérifie ainsi (ici pour un pli parallèle aux plis extérieurs) :

$$\tau_{v,x,d} = \frac{\gamma_i \cdot S_i}{I_{\text{ef},x} \cdot B} \cdot V_d \leq f_{r,x,d}$$

où le moment statique d'un pli au sein d'une section rectangulaire est :

$$S_i = B \cdot t_i \cdot x_i$$

avec :

B largeur du panneau

t_i l'épaisseur du pli i

x_i l'abscisse du barycentre du pli à l'axe de symétrie du panneau

Note : Dans le cas particulier d'un panneau à 3 plis, les efforts de cisaillement maximaux s'exercent au centre de la section qui se situe au niveau du seul pli transversal. On déterminera donc l'effort de cisaillement au niveau du joint collé le plus proche du centre de gravité général (entre les plis 1 et 2).

2.6.3 Vérifications à l'ELS du déplacement en tête de mur

Le déplacement dans son plan w_H d'un panneau CLT sollicité dans son plan par un effort de contreventement en tête de mur $F_{d,horiz}$ est le résultat net de trois déformations :

- la déformation en flexion $w_{H,M}$ du mur considéré comme encasté en pied,
- la déformation due à l'effort tranchant $w_{H,V}$ du mur considéré comme encasté en pied,
- la déformation des ancrages $w_{H,A}$ du panneau sous l'effort de basculement qui dépend de la raideur des ancrages.

Ce déplacement peut être calculé comme suit :

$$w_H = w_{H,M} + w_{H,V} + w_{H,A}$$

avec :

$$w_{H,M} = \frac{F_{d,horiz} \cdot H^3}{3 \cdot E_{\text{mean,edge}} \cdot I_{\text{net}}}$$

$$w_{H,V} = \frac{F_{d,horiz} \cdot H}{\frac{3}{4} \cdot G_{yz,mean} \cdot A}$$

$$w_{H,A} = \frac{F_{d,horiz} \cdot H^2}{B \cdot K_{\text{ser},A}}$$

où :

$F_{d,horiz}$	l'effort de contreventement en tête de mur
B	la largeur du panneau
H	la hauteur du mur (du bâtiment) considéré
A	section totale du panneau (tenant compte de tous les plis)
I_{net}	inertie nette du panneau (tenant compte uniquement des plis travaillants dans la direction sollicitée)
$E_{\text{mean,edge}}$	le module d'élasticité moyen du panneau
$G_{xy,mean}$	le module de cisaillement moyen du panneau

Pour tout élément visant à assurer le contreventement de la structure, on vérifie :

$$w_H \leq \frac{H}{500}$$

2.7 Dimensionnement – Dispositions communes aux panneaux massifs cloués

Dans le cas des panneaux massifs cloués, la continuité des déplacements au niveau des interfaces entre les plis est assurée par assemblage mécanique. Le glissement entre ces plis doit donc être prise en compte lors de la détermination des rigidités.

2.7.1 Calcul de la rigidité efficace des panneaux massifs cloués

2.7.1.1 Rigidité efficace en flexion d'un élément de mur

La rigidité efficace est calculée en utilisant la théorie des poutres composites en flexion (méthode des γ) de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1 et en tenant compte de la raideur de glissement de cisaillement liées aux assemblages cloués.

Il convient que la rigidité efficace en flexion soit prise selon :

$$EI_{ef} = EI_A + EI_{ef,B}$$

avec la part de rigidité liée au bois :

$$EI_A = E_{flat,mean} \cdot n_{ef,V} \cdot \frac{B_u \cdot t_{pli}^3}{12}$$

et la part de rigidité lié aux assemblages :

$$EI_{ef,B} = EI_B \cdot \frac{1}{1 + \frac{EI_B \cdot \pi^2}{s \cdot H^2 \cdot B_u}}$$

où :

$$EI_B = E_{flat,mean} \cdot A_{pli} \cdot \sum_{i=1}^m a_i^2$$

et :

$$s = (n-1) \cdot t_{pli}^2 \cdot n_p \cdot \left(\frac{K}{b_H \cdot b_V} \right)$$

avec :

n nombre de plis du panneau

$n_{ef,V}$ nombre de plis efficaces (verticaux) dans la direction de la sollicitation

n_p nombre de pointes par plan de croisement des planches (entre 2 et 4)

B_u largeur du panneau unitaire (1 m)

H hauteur du panneau/mur

t_{pli} l'épaisseur du pli

a_i distance entre l'axe médian d'un pli vertical i et le centre de gravité de la section d'un panneau

A_{pli} section d'un pli

b_H largeur des planches horizontales

b_V largeur des planches verticales

K raideur en cisaillement (K_{ser} à l'ELS, K_u à l'ELU)

2.7.1.2 Rigidité efficace de cisaillement

La raideur rotationnelle des assemblages par plan de croisement des planches est définie par :

$$K_{p,i} = \sum r_i^2 \cdot K$$

avec K la raideur en cisaillement d'un organe d'assemblage de type tige (K_{ser} à l'ELS et K_u à l'ELU), et r_i est la distance en mm entre les organes formant l'assemblage et le centre d'un plan de croisement des planches.

Les organes travaillent en cisaillement simple dans l'assemblage.

La raideur en cisaillement D_{xy} (en N/mm) d'un mur en panneau massif cloué est définie selon la norme allemande DIN 1052 2004-08, annexe D.3, par :

$$\frac{1}{D_{xy}} = \frac{b_H \cdot b_V}{\sum K_{p,i}} + \frac{1}{G_{mean} \cdot t_{pli} \cdot \left(\frac{n+1}{2} \right)} + \frac{1}{G_{mean} \cdot t_{pli} \cdot \left(\frac{n-1}{2} \right)}$$

avec la raideur rotationnelle pour $(n-1)$ plans de cisaillement :

$$\sum K_{p,i} = (n-1) \cdot K_{p,i}$$

et :

G_{mean} module de cisaillement du bois

b_H largeur des planches horizontales

b_V largeur des planches verticales

t_{pli} l'épaisseur du pli

2.7.1.3 Rigidité efficace en flexion d'un linteau en panneau massif cloué

Le principe de calcul est similaire à celui de l'élément de mur (§ 2.7.1.1), adapté à l'orientation de l'élément et à la sollicitation mécanique.

Il convient que la rigidité efficace en flexion soit prise selon :

$$EI_{ef} = EI_A + EI_{ef,B}$$

avec la part de rigidité liée au bois :

$$EI_A = E_{edge,mean} \cdot n_{ef,H} \cdot n_{pla,H} \cdot \frac{t_{pli} \cdot b_H^3}{12}$$

et la part de rigidité lié aux assemblages :

$$EI_{ef,B} = EI_B \cdot \frac{1}{1 + \frac{EI_B \cdot \pi^2}{s \cdot L^2}}$$

où :

$$EI_B = E_{edge,mean} \cdot n_{ef,H} \cdot A_{pla,H} \cdot \sum_{i=1}^m y_i^2$$

et :

$$s = h_{lin} \cdot D_{xy}$$

avec :

$n_{ef,H}$ nombre de plis efficaces (horizontaux) dans la direction de la sollicitation

$n_{pla,H}$ nombre de planches entières par pli horizontal

L portée du linteau

t_{pli} l'épaisseur du pli

y_i distance entre la ligne neutre d'une planche horizontale i et la ligne neutre du linteau

$A_{pla,H}$ section d'une planche horizontale

b_H largeur des planches horizontales

h_{lin} hauteur du linteau

D_{xy} la rigidité efficace de cisaillement (§ 2.7.1.2)

2.7.2 Vérifications à l'ELU instantané

2.7.2.1 Vérification des contraintes normales et de flexion

Les contraintes normales (ici de traction) et de flexion dans le pli travaillant i (ici un pli parallèle aux plis extérieurs) sont prises selon :

$$\sigma_{t,0,x,d}^i = \frac{\gamma_i \cdot a_i \cdot M_d}{I_{ef,x}}$$

$$\sigma_{m,x,d}^i = \frac{0,5 \cdot t_{pli} \cdot M_d}{I_{ef,x}}$$

en posant :

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{E_{IB} \cdot \pi^2}{s \cdot H^2 \cdot B_u}}$$

On vérifie la traction et flexion combinée dans le pli travaillant i (soumis à la flexion, ici un pli parallèle aux plis extérieurs) :

$$\sigma_{t,x,d}^i + \sigma_{m,x,d}^i = (\gamma_i \cdot a_i + 0,5 \cdot t_{pli}) \cdot \frac{M_d}{I_{ef,x}} \leq f_{m,x,d}$$

Note : Les facteurs d'ajustement k_h de la résistance caractéristique en flexion et en traction définis dans NF EN 1995-1-1, § 3.2(3) ne s'appliquent pas aux panneaux massifs structuraux bois.

2.7.2.2 Vérification du cisaillement des pointes

Cisaillement induit par le chargement vertical

La part $N_{n1,d}$ de l'effort de cisaillement due au chargement vertical que doit reprendre chaque pointe du plan de croisement des planches est calculée suivant :

$$N_{n1,dy} = N_{n1,d} = \tau_{IB} \cdot b_H \cdot b_V \cdot \frac{1}{n_p}$$

avec :

$$\tau_{IB} = \frac{V_B}{E_{IB} \cdot B_u} \cdot E_{0,mean} \cdot A_{pli} \cdot \sum z_i$$

où :

- n_p nombre de pointes par plan de croisement des planches (entre 2 et 4)
- b_H largeur des planches horizontales
- b_V largeur des planches verticales
- B_u largeur du panneau unitaire (1 m)
- A_{pli} section d'un pli
- E_{IB} tel que défini au § 2.7.1.1

Cet effort étant toujours vertical, la composante horizontale $N_{n1,dx}$ de $N_{n1,d}$ est nulle, et la composante horizontale $N_{n1,dy}$ coïncide avec $N_{n1,d}$.

Cisaillement induit par l'effort de contreventement

On considère que l'effort de piqué de contreventement en tête de mur $F_{d,horiz}$ induit des moments identiques sur chaque plan de croisement des planches tel que :

$$M_p = \frac{F_{d,horiz} / L_{eff} \cdot b_H \cdot b_V}{\sum K_{p,i}} \cdot K_{p,i} = \frac{F_{d,horiz} / L_{eff} \cdot b_H \cdot b_V}{n - 1}$$

où :

- $F_{d,horiz}$ l'effort de contreventement en tête de mur
- L_{eff} la longueur du mur contreventant (sans ouverture avec $L \geq H/4$)
- b_H largeur des planches horizontales
- b_V largeur des planches verticales
- n nombre de plis du panneau
- $K_{p,i}$ raideur rotationnelle des assemblages par plan de croisement des planches (§ 2.7.1.2)

On détermine alors la part $N_{n2,d}$ de l'effort de cisaillement due au chargement horizontal que doit reprendre chaque pointe du plan de croisement des planches suivant :

$$N_{n2,d} = \frac{M_p}{\left(\sum_{i=1}^{n_p} r_i^2 \right) / r_{i,max}}$$

où :

- r_i la distance entre la pointe i et le centre du plan de croisement des planches
- n_p nombre de pointes par plan de croisement des planches (entre 2 et 4)

On définit :

$N_{n2,dx}$ la composante horizontale de $N_{n2,d}$

$N_{n2,dy}$ la composante verticale de $N_{n2,d}$

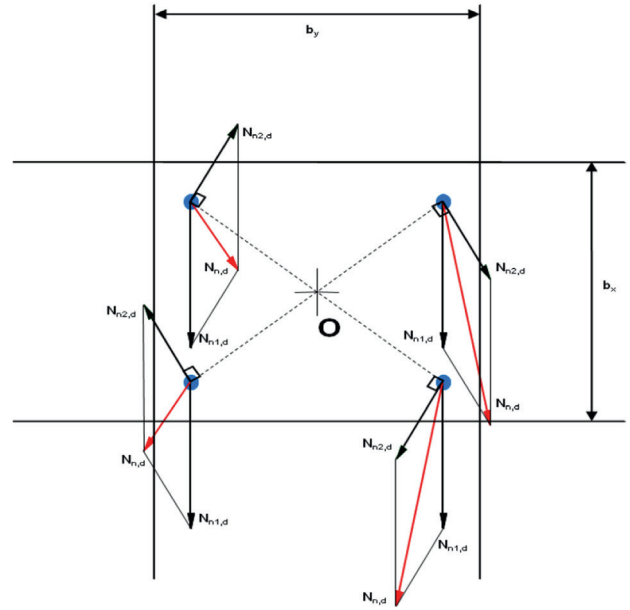


Figure 29 – Efforts de cisaillement des pointes d'un panneau massif cloué

Cisaillement résultant

L'effort de cisaillement résultant (charges verticales et horizontales) maximal que doit reprendre chaque pointe du plan de croisement des planches est calculée suivant :

$$N_{n,d} = \sqrt{N_{n2,dx}^2 + (N_{n1,dy} + N_{n2,dy})^2}$$

Finalement on vérifie :

$$N_{n,d} \leq F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M}$$

2.7.2.3 Vérification des planches verticales en extrémité de mur

On considère que les planches verticales situées en extrémité de mur sont soumises :

- à une contrainte normale (traction ou compression) due à la charge verticale, déterminée comme suit :

$$\sigma_{c,0,d} = \sigma_{t,0,d} = \frac{F_{d,vert} \cdot H/L}{n_{ef,v} \cdot h_{pli} \cdot b_V}$$

- à une contrainte de cisaillement due à la charge horizontale (contreventement) déterminée comme suit :

$$\tau_{xy,d} = \frac{F_{d,horiz} / L_{eff}}{n_{ef,v} \cdot t_{pli} \cdot b_V}$$

où :

- $F_{d,vert}$ la charge verticale
- $F_{d,horiz}$ l'effort de contreventement en tête de mur
- H hauteur du panneau
- L longueur du panneau

L_{eff}	la longueur du mur contreventant (sans ouverture avec $L \geq H/4$)
$n_{ef,V}$	nombre de plis efficaces (verticaux) dans la direction de la sollicitation
t_{pli}	l'épaisseur du pli des planches verticales d'extrémité
b_V	largeur des planches verticales

On vérifie ces contraintes dans les planches en bois selon la NF EN 1995-1-1.

2.7.2.4 Autres vérifications

Les autres vérifications dépendent de l'application (mur ou plancher) et sont par conséquent précisées :

- au § 3.3 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de plancher ;
- au § 4.3 pour les dispositions particulières relatives aux ouvrages de mur.

Notamment, le cisaillement et la compression transversale sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon les principes énoncés respectivement dans le § 3.3.2 et le § 3.3.3.

2.7.3 Vérifications ELS particulières pour les panneaux massifs cloués

2.7.3.1 Vérification de la flèche de second ordre sous charge verticale et/ou perpendiculaire au panneau

Pour les murs en panneaux massifs cloués, on vérifie que la déformation instantanée au second ordre w'' , calculée avec une pré-déformation pour tenir compte du flambement lié aux imperfections, n'excède pas $H/300$:

$$w'' = \frac{1}{1 - \frac{F_{d,vert}}{P_{ki}}} \cdot \left(\frac{5 \cdot q_k \cdot H^4}{384 \cdot EI_{ef}} + \varphi \cdot H \right) - \varphi \cdot H$$

où :

q_k la charge caractéristique de vent agissant perpendiculairement au mur

$F_{d,vert}$ la charge verticale

q_k la charge critique d'Euler en prenant compte la rigidité efficace de flexion

$\varphi \cdot H$ une pré-déformation : $\varphi \cdot H = 0.0025 \cdot H$

2.7.3.2 Vérification du déplacement horizontal en tête de mur sous charge horizontale

Le déplacement w_H en tête de mur (ou de bâtiment) est calculé comme suit :

$$w_H = \frac{F_{d,horiz} / L}{D_{xy}} \cdot H$$

où :

$F_{d,horiz}$ l'effort de contreventement en tête de mur

D_{xy} la rigidité efficace de cisaillement (§ 2.7.1.2)

L la longueur du mur

H la hauteur du mur (du bâtiment) considéré

Pour tout élément visant à assurer le contreventement de la structure, on vérifie :

$$w_H \leq \frac{H}{500}$$

2.8 Conception des assemblages

2.8.1 Principe

Les organes de fixation et les connecteurs mécaniques tridimensionnels doivent satisfaire aux exigences du § 2.3.2 et du § 2.3.3, respectivement.

Les organes de fixation ou d'assemblages doivent être justifiés en tenant compte des prescriptions suivantes :

- les organes de fixation conformes à la NF EN 14592 peuvent être dimensionnés selon la NF EN 1995-1-1, § 7.1 et § 8 lorsque l'organe ne traverse pas plus de deux plans de cisaillement ;
- lorsque l'organe traverse plus de deux plans de cisaillement, ou qu'il est inséré dans l'épaisseur du panneau (parallèlement aux plans de collage) l'organe de fixation doit faire l'objet d'une ETE visant la fixation dans un panneau structural massif bois qui précise alors notamment :
 - les modalités de détermination de la portance locale selon l'orientation de l'effort ;
 - les dispositions relatives aux fixations dans l'épaisseur du panneau ;
 - les règles de pinces ;
 - les modules de glissement ;
 applicables dans un panneau structural massif bois.

Note : au moment de la rédaction du présent document, la NF EN 1995-1-1 ne couvre pas explicitement les panneaux massifs structuraux bois, notamment pour ce qui est des assemblages. Les dispositions ci-dessus visent à clarifier l'applicabilité des principes des § 7.1 et § 8 de la NF EN 1995-1-1 et son amendement A1.

2.8.2 Cas des assemblages métal bois

En ce qui concerne les assemblages bois/métal, seuls les assembleurs dans les plans de cisaillements aux interfaces bois/métal sont considérés ici.

Il y a par ailleurs lieu de justifier également les éléments métalliques au regard des prescriptions de la NF EN 1993-1-1 et son Annexe Nationale.

Ce point de dimensionnement n'est pas traité dans le présent document.

2.8.3 Cas des ancrages

L'ancrage des panneaux structuraux massifs bois dans les ouvrages d'infrastructure (usuellement support béton), réalisé par exemple au moyen de chevilles de fixations, doit également faire l'objet d'une vérification.

Les chevilles de fixation doivent bénéficier d'une ETE selon l'ETAG 001 précisant leurs capacités résistantes et leur modalité de dimensionnement.

Ce point de dimensionnement n'est pas traité dans le présent document.

2.8.4 Calcul aux ELS

Une attention particulière doit être portée à la détermination du glissement des assemblages des structures en panneaux structuraux massifs bois, afin de s'assurer qu'il n'engendre pas de déformations de structure qui amèneraient celle-ci à ne plus respecter les exigences de la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale et/ou des NF DTU concernés.

2.9 Sécurité vis-à-vis de l'incendie

2.9.1 Réaction au feu

Conformément à l'arrêté du 21 novembre 2002, le classement Euroclasses en réaction au feu des panneaux structuraux massifs bois, qu'ils soient ou non traités avec un produit de préservation contre les attaques biologiques, doit être déclarée :

- soit par un procès-verbal d'essai sur le panneau complet délivré par un laboratoire agréé ;
- soit (le cas échéant) dans l'ETE du panneau (usuellement sur la base d'une des deux méthodes précitées).

Dans tous les cas l'Euroclasse en réaction au feu du panneau est donnée dans le DTA ou l'AT.

2.9.2 Résistance au feu

Conformément aux conditions prévues par l'arrêté du 22 mars 2004 modifié la performance de résistance au feu d'un ouvrage en panneau massif structural bois doit être déterminée :

- soit par un procès-verbal d'essai délivré par un laboratoire agréé ;
- soit par une appréciation de laboratoire agréé ;
- soit par une méthode de calcul et une règle de dimensionnement (notamment la NF EN 1995-1-2 et son Annexe Nationale).

Note : Au moment de la rédaction du présent document, ni la NF EN 1995-1-2 ni son Annexe Nationale ne visent la détermination par le calcul de la résistance au feu de paroi en panneau massif structuraux bois.

Note : Une attention particulière doit être portée au traitement des points singuliers tels qu'assemblages entre panneaux ou réservations, afin de ne pas réduire la performance EI de la partie courante.

2.9.3 Propagation du feu en façade

Conformément à l'arrêté du 24 mai 2010, et dans les limites d'application de celui-ci, les dispositions constructives permettant à la façade de participer à l'indice C+D (écran thermique, jonction façade/plancher) ainsi que les dispositions visant à limiter le risque de propagation du feu en façade sont déterminées :

- soit expérimentalement au moyen de l'essai LEPIR2, défini par l'arrêté du 10 septembre 1970 ;
- soit par une appréciation de laboratoire agréé ayant des compétences en réaction et résistance au feu ;
- soit par application des dispositions de l'Instruction Technique 249, précisée et complétée par le guide « Bois construction et propagation du feu par les façades » rédigé en application de l'Instruction Technique 249 (qui a valeur d'Appréciation de laboratoire).

2.9.3.1 Cas des bardages à lame d'air ventilée

Les façades comportant des baies vitrées et constituées d'un bardage ventilé mis en œuvre sur des parois porteuses ou non-porteuses réalisées en panneaux structuraux massifs bois relèvent du guide « Bois construction et propagation du feu par les façades » rédigé en application de l'Instruction Technique 249 qui a valeur d'Appréciation de laboratoire.

Pour des solutions de façade en panneaux structuraux massifs bois non décrites dans ce guide, la justification passe par une Appréciation de laboratoire concluant favorablement sur le risque de propagation du feu par la façade dans les conditions fixées au chapitre 5.3 de l'Instruction Technique n° 249.

2.9.3.2 Cas des ETICS

Les parois en panneaux structuraux massifs bois revêtues d'un ETICS relèvent du paragraphe 2.4.3 de l'Instruction Technique 249 relative aux façades, lorsque la réglementation impose son application. Elles doivent faire l'objet d'une appréciation favorable délivrée par un laboratoire agréé conformément aux dispositions du paragraphe 5.3 de cette instruction technique.

2.9.3.3 Autres revêtements de façade

Les parois en panneaux structuraux massifs bois revêtues d'un revêtement non visé aux § 2.9.3.1 et § 2.9.3.2 relèvent du paragraphe 2.4.3 de l'Instruction Technique 249 relative aux façades, lorsque la réglementation impose son application. Elles doivent faire l'objet d'une appréciation favorable délivrée par un laboratoire agréé conformément aux dispositions du paragraphe 5.3 de cette instruction technique.

2.9.3.4 Détails d'intégration des menuiseries

En complément des dispositions du § 2.9.3.1, les figures suivantes précisent les principes d'interface des façades en bardage ventilé au droit des menuiseries extérieures.

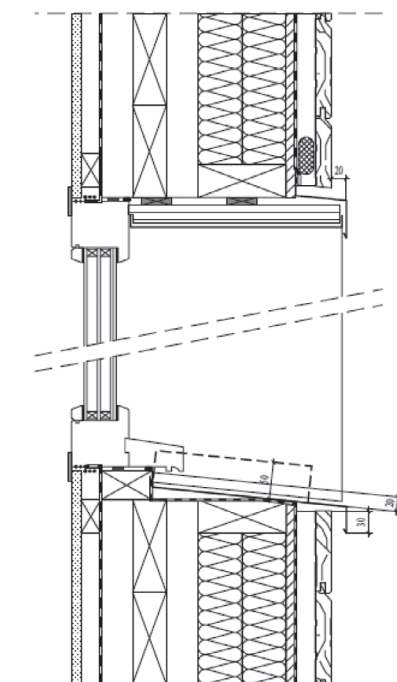


Figure 30 – Traitement des embrasures de menuiseries avec un matériau B-s3,d0 et habillage acier – coupe verticale

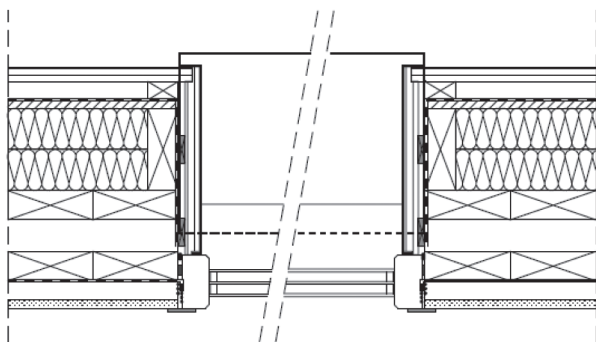


Figure 31 – Traitement des embrasures de menuiseries avec un matériau B-s3,d0 et habillage acier – coupe horizontale

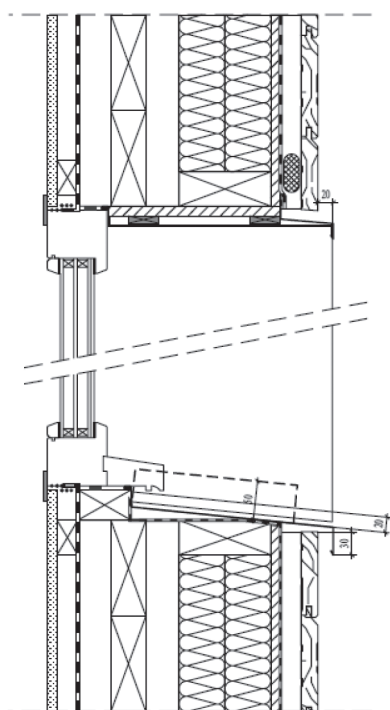


Figure 32 – Traitement des embrasures de menuiseries avec un matériau A2-s3,d0 et habillage acier – coupe verticale

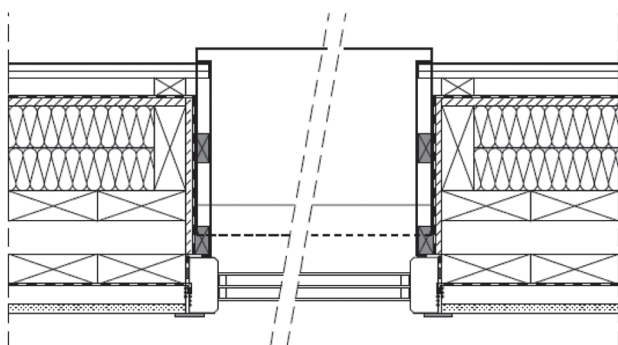


Figure 33 – Traitement des embrasures de menuiseries avec un matériau A2-s3,d0 et habillage acier – coupe horizontale

2.10 Isolation Acoustique

2.10.1 Exigences

Les panneaux structuraux massifs bois seuls ne permettent pas toujours de satisfaire les exigences en vigueur en matière d'isolation acoustique entre logements dans les bâtiments d'habitation.

L'atteinte des critères d'isolation fixés par la réglementation nécessite alors la mise en œuvre de matériaux d'isolation acoustique ou d'ouvrages complémentaires, par exemple un plafond suspendu et/ou une chape désolidarisée en plancher, ou un doublage isolé sur une ou deux faces en mur.

L'efficacité du complexe ainsi constitué vis-à-vis de l'isolation acoustique dépend de la conception particulière de l'écran ainsi rapporté et de sa suspension.

Cette efficacité peut être jugée soit à partir d'essais, soit en se référant à des « Exemples de solutions ».

On rappelle que les seuils exigés par la Réglementation Acoustique en termes d'isolation acoustique entre logements dans les bâtiments d'habitation s'entendent *in situ*. Par conséquent la satisfaction à ces exigences nécessite une analyse et une conception globale au niveau de l'ouvrage, prenant en compte non seulement la performance des parois, mais aussi les détails de réalisation des points singuliers et les transmissions latérales.

Les « Exemples de solutions » permettent de guider un choix de configuration pour la paroi courante, mais ne représentent pas à eux seuls une garantie de satisfaction aux exigences réglementaires.

2.10.2 Évaluation par essais

L'isolement acoustique et la transmission des bruits de chocs de parois en panneaux structuraux massifs bois est évaluée par essais selon NF EN ISO 717-1 et NF EN ISO 717-2.

2.10.3 « Exemples de solutions »

L'efficacité d'un complexe de paroi peut être jugée en se référant à des « Exemples de solutions » pour les locaux secs, présentés notamment :

- dans le Catalogue Construction Bois (www.catalogue-construction-bois.fr) édité par le FCBA sur la base des travaux de l'étude ACOUBOIS (juin 2014) réalisée conjointement par le CSTB, le FCBA et QUALITEL ;
- dans le rapport ACOUBOIS « Méthodes simplifiée et exemples de solutions acoustiques » V2.0 de juin 2014.

Dans le cas d'un plancher, on s'assurera en outre que la fréquence de résonance de la paroi est inférieure à 60 Hz.

Cette fréquence peut être calculée par la formule

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{K \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

avec :

- f_0 = la fréquence de résonance en Hz,
- m_1 = la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plancher brut,
- m_2 = la masse, en kilogramme, d'un mètre carré de plafond rapporté,
- K = le coefficient de raideur dynamique du dispositif de suspension du plafond ; il s'exprime en N/m et il correspond au rapport de la force, en N, à appliquer, au déplacement qui en résulte pour le dispositif de suspension, déplacement exprimé en mètres (m).

Ce coefficient K doit être rapporté à 1 m² de plancher. Dans le cas particulier d'utilisation de suspentes très courtes et rigides, réalisées en fers plats fixés sur les faces latérales des poutres en bois (voir DTU 25.41 « Ouvrages en plaques de parement en plâtre »), on ne peut pas connaître avec précision le coefficient de raideur dynamique K , ni de ce fait, la fréquence de résonance f_0 . Dans ce cas, seul un essai permet de déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique de l'ensemble plancher et plafond suspendu rapporté.

2.11 Isolation Thermique

Les dispositions communes relatives à l'isolation, l'étanchéité à l'air et l'hygrothermie des parois à base de panneaux structuraux massifs bois sont précisées dans la l'AT ou le DTA.

2.12 Étanchéité à l'eau – Revêtement de façade

2.12.1 Étanchéité à l'eau

Les panneaux structuraux massifs bois ne sont pas destinés à jouer un rôle vis-à-vis de l'étanchéité à l'eau.

Les parois exposées au climat extérieur doivent donc obligatoirement être revêtues.

2.12.2 Revêtement des murs extérieurs au moyen de bardages rapportés

Un bardage rapporté sur lame d'air ventilée conforme au NF DTU 41.2 peut être mis en œuvre sur parois en panneaux structuraux massifs bois dans le respect des dispositions du NF DTU 31.2.

Compte-tenu de la nature massive du support (épaisseur pleine et continue de mini 60 mm), l'ossature du bardage peut être fixée selon un calepinage dépendant uniquement de ce dernier (contrairement à un système sur COB pour lesquelles fixations doivent être localisées au droit des montants de l'ossature.)

Les dispositions relatives aux murs en panneaux massifs structuraux bois lorsque ceux-ci forment le support d'un bardage rapporté non visé au NF DTU 41.2 sont précisées dans la Partie III du présent CPT.

2.12.3 Revêtement des murs extérieurs au moyen d'ETICS

Les dispositions relatives aux systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant (ETICS) posés sur les parois extérieures en panneaux massifs structuraux bois sont précisées dans la l'AT ou le DTA.

2.12.4 Autres revêtements de façade

Les dispositions relatives aux revêtements sur support parois en panneaux structuraux massifs bois non visés aux § 2.12.2 et § 2.12.3 relèvent d'une évaluation technique spécifique.

3. Dispositions particulières aux ouvrages de plancher

Le présent chapitre complète les Prescriptions Communes décrites au § 2 par les règles de conception, de calcul et de mise en œuvre et utilisation spécifiques aux structures de plancher en panneaux structuraux massifs bois.

Note : On rappelle que les panneaux massifs cloués sont réservés à l'usage comme élément de mur.

3.1 Application des règles de calcul

Le dimensionnement des panneaux structuraux massifs bois en tant que composant de plancher se fait suivant la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale.

L'ensemble des Prescriptions Communes décrites au § 2.5 s'applique aux structures de plancher. Elles sont complétées par les prescriptions suivantes, spécifiques aux structures de plancher.

3.2 Charges

Les charges sont définies au § 2.5.3 des Prescriptions Communes. Les éléments de précision suivants s'appliquent aux structures de plancher.

3.2.1 Charges permanentes et quasi-permanentes

Le poids propre de l'ensemble de la structure du plancher, doit également comprendre ses éléments de finition (plafond, revêtement de sol, cloisons séparatives et/ou cloisons légères fixes) et ses composants connexes tel par exemple que l'isolation du plénum.

On entend par « cloisons légères fixes » des cloisons :

- qui pourraient être démontées (ou déconstruites) et remontées (ou reconstruites) au cours de la durée de vie de l'ouvrage,
- dont le poids linéique est inférieur à 2,0 kN/m,
- et qui ne participent pas à la structure porteuse.

On entend par « cloisons séparatives fixes » des cloisons de distribution ou de séparation qui correspondent à la définition des cloisons légères fixes, à l'exception de leur poids linéique qui excède 2,0 kN/m.

La présence de cloisons légères fixes doit être prise en compte dans le dimensionnement des éléments de structure du plancher :

- soit en appliquant les charges linéiques correspondantes en leur lieu effectif, lorsque celui-ci est connu et que la configuration du bâtiment rend peu probable un déplacement ultérieur de ces cloisons,
- soit en appliquant une charge uniformément répartie pour les cloisons légères telle que définie dans NF EN 1991-1-1, § 5.2.2(2) et § 6.3.1.2(8).
- La charge induite par les cloisons légères fixes est une charge de Long Terme. Par simplification, celle-ci peut également être considérée comme une charge Permanente.

La présence de cloisons séparatives fixe doit être prise en compte dans le dimensionnement des éléments de structure du plancher :

- en appliquant les charges linéiques correspondantes en leur lieu effectif
- La charge induite par les cloisons légères fixes est une charge de Long Terme. Par simplification, celle-ci peut également être considérée comme une charge Permanente.

La charge pour les cloisons légères fixes et cloisons séparatives fixes est usuellement considérée comme charge de second-œuvre, sauf lorsque l'on peut être certain que lesdites cloisons seront installées avant les éléments de second-œuvre.

Afin de pouvoir calculer la déformation totale à long terme sur les éléments de second-œuvre $w_{d2,fin}$, on scinde ces charges permanentes en deux fractions distinctes G0 et G1 telles que définies au § 2.5.3.

3.2.2 Cloisons mobiles

Les cloisons mobiles qui ne sont pas des cloisons légères fixes telles que définies au § 3.2.1 sont à considérer suivant l'EN 1991-1-1.

3.2.3 Autres charges

Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des surcharges pour ne pas mobiliser de manière importante les cisaillements entre panneaux adjacents.

Les assemblages entre panneaux dans un même plan doivent être conçus et dimensionnés pour limiter le risque de planotage entre éléments, et, le cas échéant, reprendre les efforts induits par les surcharges localisées.

Les détails de jonctions entre panneaux dans un même plan sont indiqués dans les dispositions constructives (cf. § 2.4.3).

Il convient de vérifier (selon le type d'assemblage retenu) :

- la pièce de liaison au cisaillement longitudinal ;
- la résistance des organes de fixation à l'arrachement ;
- la résistance des organes de fixation au cisaillement ;

les contraintes induites sur les organes de fixation devant être considérées simultanément dans une combinaison linéaire.

3.3 Dimensionnement des panneaux porteurs horizontaux

3.3.1 Généralités

Note : Certaines dispositions du présent chapitre sont détaillées sur la base de la méthode de modélisation décrite au § 2.5 en l'absence de méthode définie dans le DTA ou l'AT et dérivée de la méthode des γ de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1.

La vérification aux ELU et aux ELS se fait selon les Prescriptions Communes décrites au § 2.5, notamment :

- La rigidité efficace EI_{ef} est calculée conformément au § 2.5.7 pour les panneaux de type CLT ;
- La vérification à l'ELU final est précisée au § 2.5.9 ;
- Les principes de la vérification à l'ELS sont précisés aux § 2.7.3 et § 2.5.11.

Note : On rappelle que les panneaux massifs cloués sont réservés à l'usage comme élément de mur.

Modèle simplifié

Pour le dimensionnement des panneaux soumis à un chargement hors plan, il est possible de prendre comme modèle des éléments de 1 m de large auxquels on applique la théorie des poutres composites.

Flexion transversale

Les panneaux structuraux massifs bois eux-mêmes permettent la reprise locale de flexion transversale (sens perpendiculaire au fil des plis externes) notamment dans les configurations suivantes :

- trémies ;
- porte-à-faux ;
- panneau effectivement appuyé sur plus de deux côtés (les appuis pouvant être continus ou ponctuels).

Compte tenu de l'impossibilité qu'il y a à transmettre des moments entre panneaux adjacents au moyen des assemblages courants (cf. § 2.4.3), les planchers composés de plusieurs panneaux adjacents doivent être conçus et mis en œuvre de manière à fonctionner en flexion sur deux appuis et non pas sur quatre côtés.

Ces dispositions sont complétées des dispositions suivantes.

3.3.2 Vérifications aux ELU des contraintes normales, de flexion et de cisaillement

Ces vérifications sont décrites au § 2.6.2.

Pour les éléments de plancher, le cisaillement sur appui doit également être vérifié.

3.3.3 Vérification aux ELU de la compression transversale

Note : Les dispositions du présent chapitre sont inspirées du projet de texte de la révision de l'EN 1995-1-1 au moment de la rédaction du présent document.

On vérifie la contrainte de compression transversale comme suit :

$$\sigma_{c,90,x,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90,xlam} \cdot f_{c,90,flat,x,d}$$

où :

A_{ef} la surface de contact efficace retenue

$k_{c,90,xlam}$ un facteur tenant compte de la configuration de chargement, de la distribution de contraintes, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression

$f_{c,90,flat,x,d}$ la résistance à la compression transversale à plat du matériau du pli extérieur soumis à la charge $F_{c,90,d}$

La surface de contact $A_{ef} = b_{ef} \cdot l_{ef}$ est prise intégralement en supposant une répartition et une distribution uniforme des contraintes. La rotation des appuis n'est pas prise en compte. On retiendra :

- pour l_{ef} la longueur de contact exacte ;
- pour b_{ef} la largeur de contact exacte, sauf pour les appuis continus dans le sens perpendiculaire à la portée, pour lesquels on considère un élément de plancher de largeur $b_{ef} = 1$ m.

Note : Les dispositions de l'EN 1995-1-1 permettant d'augmenter la largeur et longueur de contact jusqu'à 30 mm de part et d'autre ne s'appliquent donc pas. La distribution de contrainte est prise en compte au moyen du facteur $k_{x,90,xlam}$.

Dans les configurations de sollicitation courantes suivantes, pour les panneaux massifs structuraux bois dont le rapport entre l'épaisseur du pli le plus épais $t_{lay,max}$ et du pli le moins épais $t_{lay,min}$ est compris entre 0,5 et 2,0 (inclus), on détermine le facteur $k_{c,90,xlam}$ comme suit, sur la base d'un angle de distribution de contrainte moyen de 35° :

$$k_{c,90,xlam} = \min \left\{ 0,9 \cdot \sqrt{\frac{w_{dis} \cdot l_{dis}}{w \cdot l}} ; 4,0 \right\}$$

où :

w = b_{ef} la largeur de contact

l = l_{ef} la longueur de contact

w_{dis} la largeur efficace tenant compte de la distribution de contraintes

l_{dis} la longueur efficace tenant compte de la distribution de contraintes

Les longueur et largeur efficaces tenant compte de la distribution de contrainte sont calculées comme suit :

$$w_{dis} = w + k_{ls} \cdot k_w \cdot 0,7 \cdot t_{xlam}$$

et

$$l_{dis} = l + k_{ls} \cdot k_l \cdot 0,7 \cdot t_{xlam}$$

où :

t_{xlam} l'épaisseur totale du panneau

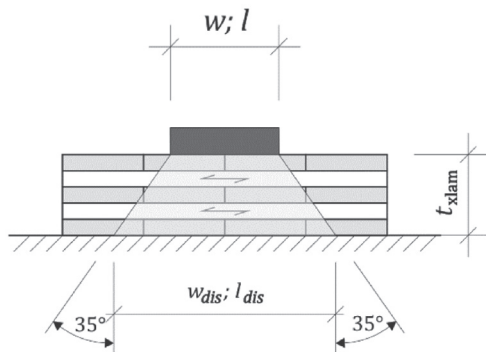
k_{ls} facteur tenant compte de la configuration d'application de la charge

k_w facteur tenant compte de la possibilité de distribution de contraintes dans le sens de la largeur

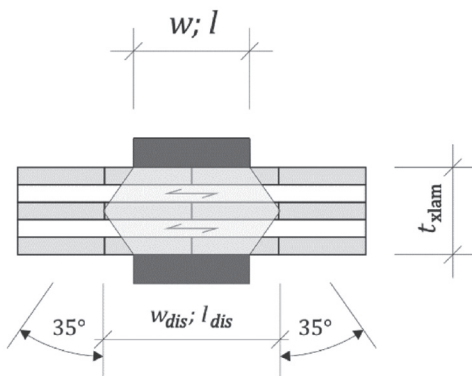
k_l facteur tenant compte de la possibilité de distribution de contraintes dans le sens de la longueur

Le facteur k_{ls} est pris égal à :

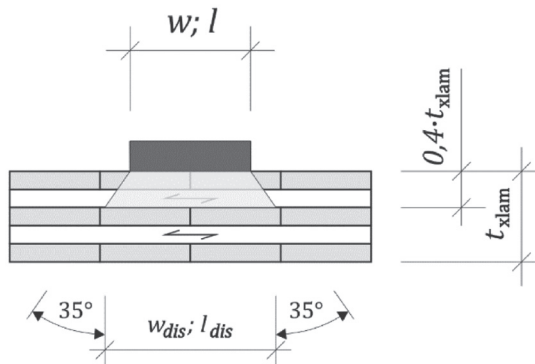
- $k_{ls} = 1,0$ lorsque le panneau est appuyé de manière continue :



- $k_{ls} = 0,5$ lorsque le panneau soumis à une charge de même aire de contact de part et d'autre (transfert de charge) :



- $k_{ls} = 0,4$ lorsque la charge est appliquée en travée :



Les facteurs k_l et k_w sont pris égaux à :

- $k_l = 2$ resp. $k_w = 2$ lorsque la distribution de contrainte est possible de part et d'autre dans le sens considéré ;
- $k_l = 1$ resp. $k_w = 1$ lorsque la distribution de contrainte n'est possible que d'un côté dans le sens considéré ;
- $k_l = 0$ resp. $k_w = 0$ lorsque la distribution de contrainte n'est pas possible dans le sens considéré ;

(les cas usuels sont décrits en Figure 34 ci-dessous)

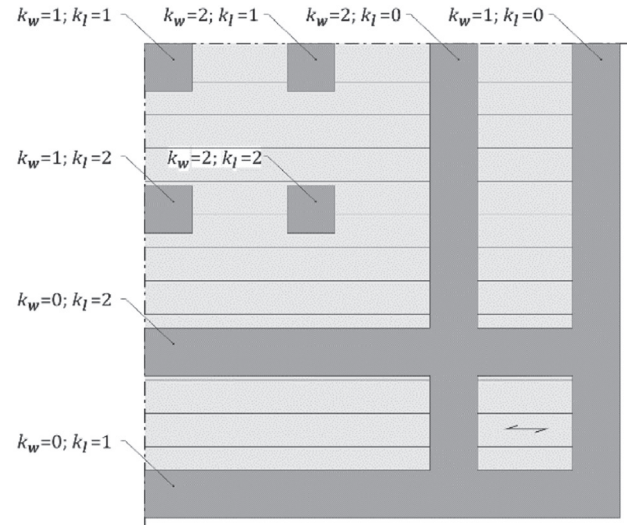


Figure 34 – Compression transversale – Exemples de valeurs des coefficients k_l et k_w

Pour les autres cas, non couverts par ce qui précède, et sauf justification particulière^(*), on prend $k_{c,90,xlam} = 1,0$.

(*) Des solutions pour la détermination de $k_{c,90,xlam}$ dans ces cas peuvent être trouvées dans :

- « Properties of cross laminated timber (CLT) in compression perpendicular to the grain. Proceedings of INTER, Paper INTER/49-12-1 », Brandner, R. ; Schickhofer, G. (2014) ; et/ou
- « Ultimate limit states design of CLT elements – Basics and some special topics. In: Proceeding of the Joint Conference of COST Actions FP1402 & FP1404: "Cross Laminated Timber – A competitive wood product for visionary and fire safe buildings" », Thiel, A., Brandner, R. (2016)

3.3.4 Vérification du cisaillement roulant sous charge concentrée

Note : Les dispositions du présent chapitre sont inspirées du projet de texte de la révision de l'EN 1995-1-1 au moment de la rédaction du présent document.

En complément de la vérification de la contrainte de compression transversale sous charge concentrée selon § 3.3.3, il convient de vérifier les contraintes de cisaillement roulant sous cette même charge concentrée :

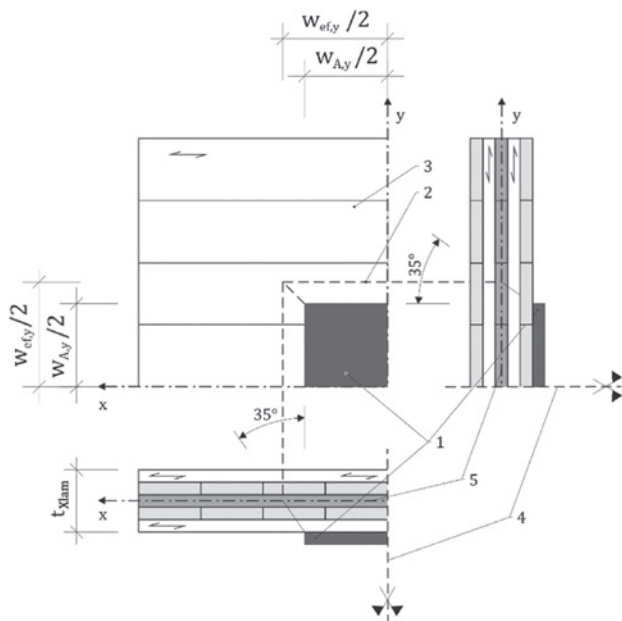
$$\tau_{r,d} \leq k_{r,pu} \cdot f_{r,i,d}$$

où :

$f_{r,i,d}$ la résistance au cisaillement roulant du pli i du panneau
 $k_{r,pu}$ facteur tenant compte du comportement non-linéaire de cette configuration et de l'interaction entre la compression transversale et le cisaillement roulant : $k_{r,pu} = 1,4$ pour le panneaux CLT composés uniquement de plis en bois massif, $k_{r,pu} = 1,0$ sinon (sauf

justification particulière précisée dans l'ETE, le DTA ou l'AT du panneau)

$\tau_{r,d}$ la contrainte de cisaillement roulant déterminée en tenant compte de la distribution de contraintes sous un angle moyen de 35° à mi-épaisseur du panneau :



3.3.5 Vérifications aux ELS – Flèches

La vérification à l'ELS se fait selon les Prescriptions Communes décrites aux § 2.5.11 et § 2.7.3.

Les flèches admissibles décrites ci-après sont des valeurs *a minima*. Les AT ou DTA des procédés de revêtement, ou les DPM peuvent fixer des exigences plus sévères.

3.3.5.1 Vérifications flèche à long terme

– w_{fin} et $w_{net,fin}$

La flèche finale $w_{net,fin}$ ne pourra excéder $L/250$ où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques finales des panneaux structuraux massifs bois.

3.3.5.2 Vérifications flèche instantanée

– w_{inst} ou $w_{Q,inst}$

La flèche instantanée due aux actions variables $w_{Q,inst}$ ne pourra excéder $L/300$ où L est la portée du panneau entre appuis. La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux structuraux massifs bois.

3.3.5.3 Vérifications flèche active

(éléments de second-œuvre) – $w_{d2,fin}$

En l'absence de précision fournie par la norme NF EN 1995-1-1 ou son Annexe Nationale, il convient de prendre pour les déplacements des planchers en panneaux structuraux massifs bois, les valeurs suivantes :

Pour les planchers, la flèche active $w_{d2,fin}$, pouvant nuire aux revêtements de sols fragiles, ne doit pas dépasser :

- soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si disponible ;
- soit $L/500$ de la portée si celle-ci est $\leq 7,0$ m ; ou $0,7$ cm + $L/1\ 000$ de la portée si celle-ci est supérieure à $7,0$ m, sinon.

Note : Ces limites correspondent aux dispositions du référentiel FD P18 717.

Pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols fragiles, la flèche active est limitée, par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :

- soit $L/350$ de la portée si celle-ci est $\leq 7,0$ m
- soit $1,0$ cm + $L/700$ de la portée si celle-ci est supérieure à $7,0$ m

Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux structuraux massifs bois.

Les revêtements fragiles doivent être mise en œuvre en pose désolidarisée au moyen d'un procédé faisant l'objet d'un AT visant un support bois.

3.3.5.4 Cas des éléments de plancher en porte-à-faux

La longueur des porte-à-faux sera limitée à 20 % de la longueur de la travée adjacente d'équilibre. La déformation finale w_{fin} limite est de $L/500$, L étant la longueur du porte-à-faux.

3.3.6 Vérifications aux ELS – Critère vibratoire

Les planchers d'un ouvrage résidentiel doivent faire l'objet d'une vérification du critère vibratoire défini au § 7.3.3 de la NF EN 1995-1-1.

La méthode de vérification présentée ci-après est basée sur la norme ÖNORM EN 1995-1-1+A1/NA:2013, Annexe Nationale Autrichienne de la NF EN 1995-1-1, qui propose un critère vibratoire conforme aux principes de l'EN 1995-1-1 et adapté aux planchers massifs bois.

Note : Au moment de la rédaction du présent document, le projet de révision de l'EN 1995-1-1 reprend cette méthode avec quelques ajustements qui sont pris en compte ci-après.

Cette méthode propose en outre des principes de vérification qui viennent compléter de manière non contradictoire l'Annexe Nationale française de la NF EN 1995-1-1, qui ne présente aucun élément précis de vérification.

La vérification se fait en trois étapes :

- le calcul de la fréquence fondamentale : f_1 (Hz)
- le calcul de la souplesse : déformation du plancher sous charge unitaire d'1 kN : w_{1kN} (mm)
- le calcul de l'accélération a_{rms} (m/s²)

3.3.6.1 Domaine d'application de la méthode

La méthode proposée est applicable aux planchers :

- des bâtiments de catégorie d'usage A, B, C1, C3 et D selon NF EN 1991-1-1 ;
- avec une masse surfacique ≥ 50 kg/m² ;
- dès lors que l'ouvrage de plancher peut être classé selon la classification décrite ci-après et en respecte les critères constructifs.

Les planchers de masse inférieure et/ou à destination d'usage particulière (salles de sport, de danse, de gymnastique, laboratoires, ...) doivent faire l'objet d'une analyse spécifique qui n'est pas couverte par le présent document.

3.3.6.2 Classes d'ouvrages de plancher

On distingue les ouvrages de plancher en panneaux massifs structuraux bois selon leur position, leur destination et leur composition constructive :

- Classe I :
 - planchers séparatifs de logements ou de bureaux ou salles de réunion,
 - planchers massifs avec chape flottante humide et ajout de masse (≥ 30 kg/m²),

ou

- planchers massifs avec chape flottante sèche et ajout de masse ($\geq 60 \text{ kg/m}^2$). Classe II :
- plancher au sein du même logement, utilisation usuelle
- planchers massifs avec chape flottante humide,

ou

- planchers massifs avec chape flottante sèche et ajout de masse ($\geq 60 \text{ kg/m}^2$).

• Classe III :

- planchers sans exigence vis-à-vis de ce critère ou planchers sous locaux non habités

Dans ce qui suit, seuls les ouvrages en Classe I et II sont considérés.

3.3.6.3 Valeurs limites du calcul vibratoire

Le modèle développé dans la NF EN 1995-1-1 ne spécifie pas la méthode applicable aux planchers pour lesquels la fréquence fondamentale f_1 est inférieure ou égale à 8 Hz. Les cas où $f_1 \leq 8 \text{ Hz}$ nécessitent une analyse spécifique. La méthode présentée propose une approche pour certains cas où $4,5 \text{ Hz} \leq f_1 \leq 8 \text{ Hz}$.

On considère donc que l'on doit tout d'abord vérifier :

$$f_1 > f_{1,\min} = 4,5 \text{ Hz}$$

On définit les limites suivantes pour les deux classes d'ouvrage considérées :

• Classe I :

- $f_{1,\lim} = 8 \text{ Hz}$ pour la fréquence fondamentale
- $w_{\lim} = 0,25 \text{ mm}$ pour la souplesse
- $a_{\lim} = 0,05 \text{ m/s}^2$ pour l'accélération

• Classe II :

- $f_{1,\lim} = 6 \text{ Hz}$ pour la fréquence fondamentale
- $w_{\lim} = 0,50 \text{ mm}$ pour la souplesse
- $a_{\lim} = 0,10 \text{ m/s}^2$ pour l'accélération

On considère le critère comme vérifié si :

- $f_1 \geq f_{1,\lim}$ pour la fréquence fondamentale
- et
- $w_{1kN} \geq w_{\lim}$ pour la souplesse

Si aucun des deux critères n'est satisfait, le critère vibratoire n'est pas satisfait.

Si le critère de souplesse est vérifié, mais que le critère de fréquence fondamentale ne l'est pas, on procède à une vérification complémentaire :

- si $f_{1,\min} \leq f_1 \leq f_{1,\lim}$ alors on procède à la vérification complémentaire d'accélération a_{rms} ;
- sinon, le critère n'est pas satisfait.

Note : L'Annexe nationale de la NF EN 1995-1-1 précise qu'un confort normal pour un plancher résidentiel d'usage courant correspond à une valeur de la limite a de la souplesse ou déformation w_{1kN} de $(1,3 \pm 0,3) \text{ mm/kN}$. Les valeurs limites de la méthode proposée sont donc nettement plus sévères.

3.3.6.4 Calcul de la fréquence fondamentale du plancher

Pour un plancher de dimensions $l \times b$ appuyé sur ses quatre côtés, la fréquence fondamentale f_1 (en Hz) est calculée comme suit :

- pour un plancher à rigidité transversale réduite^(*) :

$$f_1 = k_{e,1} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}$$

- pour un plancher à rigidité transversale élevée^(*) :

$$f_1 = k_{e,1} \cdot \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \cdot \frac{(EI)_b}{(EI)_l}}$$

où :

$(EI)_l$ rigidité longitudinale du plancher ($\text{N.m}^2/\text{m}$)

$(EI)_b$ rigidité transversale du plancher ($\text{N.m}^2/\text{m}$)

avec : $(EI)_b \leq (EI)_l$

m masse du plancher (kg/m^2) correspondant à la somme des actions permanentes et quasi-permanentes

$k_{e,1}$ est un facteur permettant la prise en compte de l'influence de portées dissymétriques pour les planchers sur 3 appuis (cf. ci-dessous)

Note : ce facteur est noté $k_{e,2}$ dans la norme ÖNORM EN 1995-1-1+A1/NA:2013.

^(*) on considère qu'il y a distribution transversale élevée lorsque :

$$\frac{(EI)_b}{(EI)_l} \geq 0,05$$

Note : La rigidité des chapes peut être prise en compte dans le calcul des rigidités du plancher, néanmoins sans effet composite.

L'influence de portées dissymétriques pour les planchers sur 3 appuis peut être prise en compte au moyen du facteur $k_{e,1}$ défini comme suit en fonction du rapport de la plus grande portée l sur la plus petite portée l_2 :

Rapport l_2 / l										
1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
Valeur de $k_{e,1}$										
1,00	1,09	1,16	1,21	1,25	1,28	1,32	1,36	1,41	1,47	1,56

(l'interpolation linéaire entre valeurs du tableau est autorisée)

3.3.6.5 Calcul de la souplesse du plancher

La souplesse ou déformation sous charge unitaire $F = 1 \text{ kN}$ du plancher w_{1kN} est calculée comme suit :

$$w_{1kN} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot (EI)_l \cdot b_{ef}}$$

où b_{ef} est la largeur contributive du plancher :

$$b_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} b \\ \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \end{array} \right.$$

Cette équation s'applique aux planchers sur 2 appuis. Par simplification, elle est également applicable aux planchers sur 3 appuis en prenant l comme la valeur de la plus grande portée.

3.3.6.6 Calcul de l'accélération a_{rms} du plancher

On calcule l'accélération a_{rms} du plancher comme suit :

$$a_{rms} = \frac{0,4 \cdot \alpha \cdot F_0}{2 \cdot \zeta \cdot M^*}$$

où :

$\alpha = e^{-0,47 \cdot f_1}$ coefficient de Fournier de la fréquence fondamentale

F_0	force correspondant au poids d'une personne ($F_0 = 700 \text{ N}$)
ζ	coefficient d'amortissement modal
M^*	masse modale (kg)

Le coefficient d'amortissement modal est défini selon le type de plancher :

Typologie de plancher massif	ζ
Avec chape flottante et ajout de masse $\geq 60 \text{ kg/m}^2$	0,04
Avec chape flottante et ajout de masse $\geq 30 \text{ kg/m}^2$	0,025
Avec ou sans chape flottante, sans ajout de masse	0,025

On calcule la masse modale M^* comme suit :

$$M^* = \frac{m \cdot l \cdot b_{ef,M^*}}{2}$$

où b_{ef,M^*} est la largeur contributive à la masse modale du plancher :

$$b_{ef,M^*} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b}{2} \\ \frac{l}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \end{array} \right.$$

3.3.7 Conception et dimensionnement des trémies

3.3.7.1 Principe

Il est possible de réaliser des ouvertures (trémies) dans les ouvrages de plancher en panneaux structuraux massifs bois :

- soit au moyen de renforts structuraux de type poutre (formant un chevêtre porteur), le panneau est alors calculé comme normalement supporté ;
- soit avec des panneaux structuraux massifs bois seuls, il est alors nécessaire de procéder à des vérifications particulières.

La méthode de modélisation des ouvertures sans renfort dans les panneaux structuraux massifs bois est précisée dans le DTA ou l'AT du panneau. En particulier, les paramètres de modélisation en treillis de poutres ou par la méthode des éléments finis doivent être détaillés dans le DTA ou l'AT.

En l'absence de méthode définie dans le DTA ou l'AT, la méthode de justification sans renforts additionnels suivante s'applique :

On distingue les dispositions constructives suivantes pour les ouvertures dans les panneaux de plancher :

- la réservation est de faibles dimensions (inférieures à $30 \times 30 \text{ cm}$) : certaines dispositions précisées au § 3.3.7.2 permettent de s'affranchir d'une vérification spécifique ;
- la réservation est située en bordure de panneau (cf. Figure 35) : la vérification peut être réalisée par décomposition comme décrit au § 3.3.7.3 ;
- la réservation est intégralement comprise dans un même panneau (cf. Figure 36) : la vérification peut être réalisée par report de charge comme décrit au § 3.3.7.4.

On définit (avec toutes les dimensions en m) :

B	largeur du panneau
L	longueur du panneau
b_{res}	largeur d'une réservation
l_{res}	longueur d'une réservation

c_{res} bande transversale de panneau de largeur 40 cm transmettant le report de charges par l'intermédiaire des plis transversaux

l_1 et l_2 distances respectives entre chaque appui du plancher et l'appui fictif formé par la bande de largeur c_{res}

q_d valeur de calcul de la charge uniformément répartie à reprendre par le plancher [kN/m^2]

3.3.7.2 Réservations de faibles dimensions

On entend par « réservations de faibles dimensions » les réservations de forme rectangulaire ou circulaire de dimensions inférieures à $30 \times 30 \text{ cm}$.

Pour ces réservations, aucune justification particulière n'est nécessaire lorsque l'ensemble des dispositions suivantes sont vérifiées (on appelle d_{res} la dimension la plus grande de la réservation concernée ou de deux réservations adjacentes) :

- leur nombre n'excède pas deux par travée d'un même panneau ;
- l'espacement bord à bord entre deux réservations successives est d'au moins deux fois d_{res} ;
- la distance du bord du panneau au bord de la réservation est d'au moins une fois d_{res}

ou

la réservation n'excède pas $15 \times 15 \text{ cm}$;

- aucune charge concentrée à caractère permanent n'est localisée à une distance inférieure à deux fois d_{res} du bord de la réservation ;

Note : La charge d'exploitation concentrée Q_k définie dans la NF EN 1991-1-1 selon la catégorie d'usage n'est pas concernée par cette disposition qui vise à définir les conditions dans lesquelles une réservation peut s'affranchir d'une vérification par le calcul.

- le taux de travail en flexion et en cisaillement du panneau (considéré comme plein) ne dépasse pas 30 %.

Pour toute réservation qui ne satisfait pas aux dispositions ci-dessus, une vérification spécifique est nécessaire.

3.3.7.3 Réservations situées en bordure de panneau de plancher – Principe de décomposition

Le principe de décomposition est applicable moyennant le respect des dispositions suivantes :

- la trémie se situe au bord d'un élément porteur de plancher ;
- la largeur de la trémie est inférieure à la moitié de la largeur de l'élément de plancher ;
- le plancher repose sur trois ou quatre appuis perpendiculaires à la longueur du panneau ;
- l'escalier impose un chargement surfacique uniforme soit selon la largeur soit selon la longueur de la trémie, ou n'impose aucun chargement supplémentaire ;
- les poutres virtuelles, issues de la modélisation (cf. Figure 35) doivent présenter un élanement (rapport de la portée à l'épaisseur) au moins égal à 6.

On décompose le panneau en poutres virtuelles élémentaires, selon le principe de la Figure 35.

Pour chacune des poutres virtuelles élémentaires, on vérifie les efforts et flèches maximaux en travées et en porte-à-faux.

Le cas échéant le chargement imposé par l'escalier est appliqué sur le bord concerné de la poutre virtuelle le supportant.

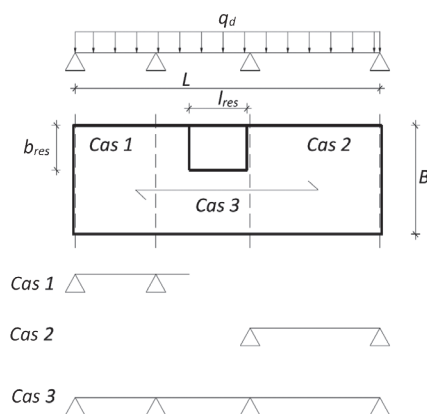


Figure 35 – Réservation en bordure de panneau de plancher – Principe de décomposition

3.3.7.4 Réservations intégralement comprises dans un même panneau de plancher – Principe de report de charge

Le principe de report de charge est applicable moyennant le respect des dispositions suivantes :

- la trémie se situe intégralement au sein d'un seul et même élément porteur de plancher ;
- la largeur de la trémie est inférieure au 2/3 de la largeur de l'élément de plancher ;
- le plancher repose sur deux appuis perpendiculaires à la longueur du panneau ;
- l'escalier impose un chargement surfacique uniforme soit selon la largeur soit selon la longueur de la trémie, ou n'impose aucun chargement supplémentaire.

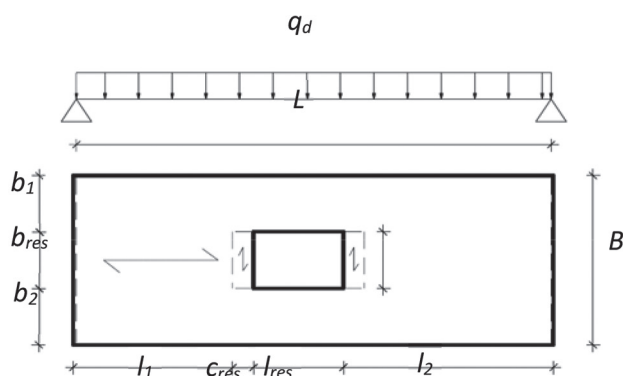
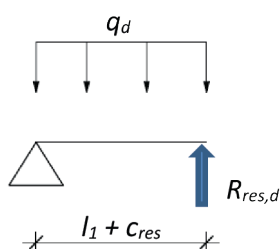


Figure 36 – Réservation intégralement comprises dans un même panneau de plancher – Principe de report de charge

La vérification est réalisée en trois étapes :

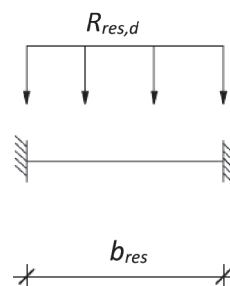
- **Étape 1** : on vérifie la section à hauteur de la bande de largeur b_{res} au niveau de la réservation seule :



- On calcule la réaction d'appui élastique fictive $R_{res,d}$ par mètre linéaire qui s'exerce sur la bande de largeur c_{res} :

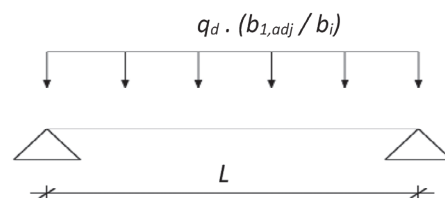
$$R_{res,d} = \frac{q_d \cdot (l_1 + c_{res})}{2} \quad [\text{kN/m}]$$

- **Étape 2** : la bande de largeur c_{res} reporte les charges perpendiculairement à la direction principale du panneau vers les bords ; on modélise cette bande d'appui fictif comme une poutre fictive encastree en ses deux extrémités soumise à la charge fictive linéique $R_{res,d}$:



On vérifie alors les contraintes de flexion et de cisaillement ainsi que la déformation de cette poutre fictive (transversale) en considérant l'inertie transversale du panneau.

- **Étape 3** : les bandes de largeur b_1 et b_2 (qui ne sont pas entrecoupées par la réservation) reprennent une bande de chargement fictive plus importante de largeur $b_{1,adj} = b_1 + b_{res} / 2$ et $b_{2,adj} = b_2 + b_{res} / 2$



On vérifie alors les contraintes de flexion et de cisaillement ainsi que la déformation de ces poutres (bandes latérales du panneau) sous ce chargement majoré.

4. Dispositions particulières aux ouvrages de mur

Le présent chapitre complète les Prescriptions Communes décrites au § 2 par les règles de conception, de calcul et de mise en œuvre et utilisation spécifiques aux structures de mur en panneaux structuraux massifs bois.

4.1 Application des règles de calcul

Le dimensionnement des panneaux structuraux massifs bois en tant que composant de plancher se fait suivant la NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale.

L'ensemble des Prescriptions Communes décrites au § 2.5 s'applique aux structures de plancher. Elles sont complétées par les prescriptions suivantes, spécifiques aux structures de plancher.

4.2 Charges

Les charges sont définies au § 2.5.3 des Prescriptions Communes.

4.3 Dimensionnement des panneaux porteurs verticaux

4.3.1 Généralités

Note : Certaines dispositions du présent chapitre sont détaillées sur la base de la méthode de modélisation décrite au § 2.5 en l'absence de méthode définie dans le DTA ou l'AT et dérivée de la méthode des γ de l'Annexe B de la NF EN 1995-1-1.

La vérification aux ELU et aux ELS se fait selon les Prescriptions Communes décrites au § 2.5, notamment :

- la rigidité efficace E_{ef} est calculée conformément au § 2.5.7 pour les panneaux de type CLT et au § 2.7.1 pour les panneaux massifs cloués ;
- la vérification à l'ELU final est précisée au § 2.5.9 ;
- les principes de la vérification à l'ELS sont précisés aux § 2.7.3 et § 2.5.10.

Ces dispositions sont complétées des dispositions suivantes.

4.3.2 Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges perpendiculaires à la surface du panneau

Pour la reprise des charges perpendiculaires à la surface du panneau structural massif bois (action du vent), l'étude est similaire à celle d'un élément de plancher soumis à la flexion plane (cf. § 3.3.1, § 3.3.2 et § 3.3.5).

Il convient de vérifier aux ELU les contraintes de flexion et de cisaillement induites par ces charges et de vérifier aux ELS les flèches des panneaux conformément aux dispositions du § 2.5, § 2.6 et § 2.7.

4.3.3 Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales

4.3.3.1 Principes

La résistance des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales dans leur plan doit être justifiée vis-à-vis du risque de flambement hors plan.

La vérification au flambement des panneaux doit être faite en prenant en compte la contrainte à mi-hauteur libre du panneau. Pour la compression transversale la vérification sera faite en pied et en tête du panneau.

Il convient de vérifier la stabilité globale d'un panneau and de vérifier la stabilité locale (notamment sous l'effet de charges concentrées telles que décrites au § 4.3.7).

Le calcul de l'élanement des panneaux structuraux massifs bois est effectué en considérant d'une part la longueur de flambement calculée de manière usuelle en fonction des conditions d'appuis (considérées comme des articulations), d'autre part le rayon de giration dont le calcul est donné dans § 4.3.3.2.

Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Les contraintes normales induites par l'effet des actions verticales agissant dans le plan du panneau sont calculées en négligeant des plis orientés perpendiculairement à ces actions. On ne considère donc que les seuls plis dont le sens du fil est parallèle à la résultante des efforts dus aux actions verticales exercées. Ces plis travaillent en compression axiale ou plus rarement en traction axiale.

Les murs étant chargés de façon dissymétrique, il convient de considérer un excentrement de la charge verticale pris égal à la plus grande des valeurs suivantes :

- 1/6 de l'épaisseur du panneau ;
- ou
- l'excentrement réel.

On détermine la contrainte de compression (ou de traction) en utilisant la section nette A_{net} et en utilisant l'inertie effective des panneaux I_{ef} calculée conformément au § 2.6.1 pour les panneaux de type CLT et au § 2.7.1 pour les panneaux massifs cloués.

Lorsque les panneaux structuraux massifs bois utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique en tenant compte, si besoin, du risque de flambement dans les deux directions.

De la même façon, les éléments formant linteaux au-dessus des ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique.

Il convient de se reporter au § 4.3.5 pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et/ou ouvertures.

4.3.3.2 Vérification des contraintes de compression et flexion combinées

Le calcul des efforts de compression et de flexion combinés doit être mené selon le § 6.3.2 de la NF EN 1995-1-1 pour les poteaux sollicités en compression seule ou en compression et flexion combinées, en prenant alors $\beta_c = 0,1$.

Lorsqu'il y a risque de flambement (rapport d'élanement $\lambda_{rel,z}$ et $\lambda_{rel,x}$ supérieurs à 0,3), on vérifie (pour le pli $i = x$ ou y) :

$$\left| \frac{\sigma_{c,0,i,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,i,d}} \right| + \left| \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,flat,i,d}} \right| \leq 1$$

La vérification de stabilité est réalisée avec le rayon de giration efficace i_{ef} prenant en compte la déformation par glissement entre les plis et déterminé comme suit :

$$i_{ef} = \sqrt{\frac{I_{ef}}{A_{net}}}$$

avec :

A_{net} section nette du panneau (tenant compte uniquement des plis travaillants dans la direction sollicitée)

Lorsqu'il n'y a pas de risque de flambement (rapport d'élanement $\lambda_{rel,z}$ et $\lambda_{rel,x}$ inférieurs ou égaux à 0,3), on vérifie (pour le pli $i = x$ ou y) :

$$\left| \frac{\sigma_{c,0,i,d}}{f_{c,0,i,d}} \right| + \left| \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,flat,i,d}} \right| \leq 1$$

4.3.3.3 Vérification des contraintes de compression ou traction simple

Pour les murs non sollicités par des actions horizontales perpendiculaires au plan (mur intérieur par exemple), on vérifie (pour le pli $i = x$ ou y) :

- pour la compression, lorsqu'il y a risque de flambement :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,i,d}} = \frac{F_{c,0,d}}{A_{net,i} \cdot k_{c,z} \cdot f_{c,0,i,d}} \leq 1$$

- pour la compression, lorsqu'il n'y a pas risque de flambement :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,i,d}} = \frac{F_{c,0,d}}{A_{net,i} \cdot f_{c,0,i,d}} \leq 1$$

- pour la traction :

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,i,d}} = \frac{F_{t,0,d}}{A_{net,i} \cdot f_{t,0,i,d}} \leq 1$$

avec :

A_{net} section nette du panneau (tenant compte uniquement des plis travaillants dans la direction sollicitée)

4.3.3.4 Vérification des contraintes de compression oblique

Le calcul de compression oblique s'effectue conformément au § 6.2.2 de la NF EN 1995-1-1, en ne prenant en compte que les plis dont le fil forme un angle α avec l'effort à reprendre c'est-à-dire les plis chargés en bois de bout.

On vérifie ainsi :

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F \cdot \frac{t_{xlam}}{\cos \alpha}}{\sum_i \frac{t_i}{\cos \alpha} \cdot L} \leq \frac{f_{c,0,i,d}}{k_{c,90,xlam} \cdot f_{c,90,i,d} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

avec :

F l'effort de chargement linéique (N/ml)

t_i épaisseur du pli i dont le fil forme un angle α avec l'effort F (plis en bois de bout travaillants)

$k_{c,90,xlam}$ est déterminé conformément au § 3.3.3.

Il peut être nécessaire de vérifier le cisaillement roulant lorsque, pour des valeurs de α importantes (supérieures à 60°), les plis transversaux sont sollicités.

4.3.3.5 Vérification des contraintes sous charges verticales ponctuelles

Les contraintes de compression axiales engendrées par des appuis ponctuels, poutres ou poteaux en appui sur le mur par l'intermédiaire de connecteurs ou de sabots etc. sont reprises uniquement par les plis orientés verticalement et ce sans considérer de répartition de contraintes.

On vérifie :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,i,d}} = \frac{F_{c,0,d}}{A_{net,i} \cdot f_{c,0,i,d}} \leq 1$$

où :

$A_{net,i}$ est défini dans la figure 37 ci-dessous.

avec :

i = x ou y selon l'orientation du fil des plis verticaux

b_{ef} largeur de contact efficace de la poutre

l_{ef} longueur de contact efficace de la poutre

$$A_{net,i} = \sum t_i \cdot l_{ef} \quad A_{net,i} = \sum t_i \cdot b_{ef}$$

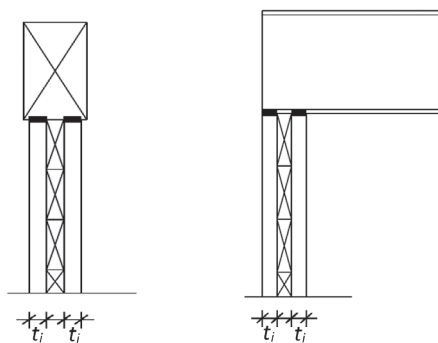


Figure 37 – Appui de poutre sur mur en panneaux structuraux massifs bois – Largeur d'appui

Dans le cas d'un appui de poutre en bois, la compression transversale de cette poutre peut être dimensionnante et doit être vérifiée en tenant compte de la surface d'appui telle que représenté dans la figure ci-dessus.

4.3.4 Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales

4.3.4.1 Principes

Lorsque des panneaux structuraux massifs bois sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible :

- soit de les considérer comme une succession de panneaux isolés les uns des autres :
 - Il est alors nécessaire de justifier leur tenue et celle de leurs ancrages en les considérant comme libres en tête et encastrés en pied ;
 - Ceci n'est applicable que si les panneaux sont fixés mécaniquement en pied et d'une largeur supérieure à 0,60 m (1,0 m pour les panneaux massifs cloués) ;
 - Il est également nécessaire de s'assurer de la présence d'une lisse haute transmettant l'effort horizontal et de justifier la transmission de l'effort aux panneaux par cette lisse et en ne tenant compte que des plis orientés dans le sens de cet effort.
- Soit de considérer les liaisons entre panneaux :
 - Il est alors nécessaire de justifier la tenue des panneaux et celles de leurs ancrages d'une part, et
 - de justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part.

Lorsque des panneaux structuraux massifs bois munis d'ouvertures sont utilisés pour assurer le contreventement, il doit être vérifié que le linteau supérieur du panneau est capable de transmettre l'effort horizontal en ne tenant compte que des plis orientés dans le sens de cet effort.

Il convient de vérifier :

- la capacité résistante au cisaillement des panneaux soumis à une poussée horizontale dans leur plan qui mobilise aussi bien les plis longitudinaux que les plis transversaux ;
- les ancrages qui reprennent les efforts de soulèvement générés par les charges horizontales (modèle de rotation rigide suivant NF EN 1995-1-1 Méthode A)
- les assemblages entre panneaux adjacents dans un même plan lorsque la liaison entre panneaux est considérée.

4.3.4.2 Vérification de la résistance au cisaillement des panneaux CLT

On vérifie la capacité résistante au cisaillement des panneaux soumis à une poussée horizontale dans leur plan.

Pour ce faire, on vérifie les trois modes de ruptures potentiels sous ce type de sollicitation à l'ELU :

- cisaillement du panneau entier :

$$\tau_{xy,gross,d} = \frac{V_d}{B \cdot t_{xlam}} \leq f_{v,xy,gross,d}$$

- cisaillement au croisement des planches collées entre plis :

$$\tau_{xy,net,d} = \frac{V_d}{B \cdot t_{min}} \leq f_{v,xy,net,d}$$

- cisaillement de torsion des joints entre les planches :

$$\tau_{tor,node,d} = \frac{V_d \cdot H}{\sum l_p} \cdot \frac{b_{min}}{2} \leq f_{v,tor,node,d}$$

où :

B la largeur du panneau

t_{xlam} l'épaisseur du panneau

V_d effort tranchant agissant sur le panneau

t_{min} somme des épaisseurs de plis transversaux ou des plis longitudinaux, la plus petite des deux valeurs étant à retenir

b_{min}	largeur de la planche la moins large par plan de croisement (mm)
I_p	moment d'inertie polaire d'une section surface de croisement
ΣI_p	somme des moments d'inertie polaire de l'ensemble des surfaces de croisement du panneau
H	hauteur du panneau perpendiculaire à l'effort agissant horizontal

4.3.4.3 Conception des ancrages en pied

Deux types d'efforts sont induits en pied des panneaux soumis à une poussée horizontale dans leur plan :

- les efforts de soulèvement d'une part, induits par le mouvement de rotation (basculement ou renversement) généré par l'application de la poussée en tête de mur ;
- les efforts de cisaillement d'autre part, correspondant à l'effort horizontal de contreventement transmis au support du mur.

De manière générale on privilégiera une conception dans laquelle :

- les ancrages, reprenant les efforts de soulèvement ainsi générés, sont dimensionnés pour ne reprendre que ces efforts ; et
- l'effort tranchant à la base des éléments porteurs verticaux est alors équilibré par des connecteurs dédiés à cet usage et n'intervenant pas dans l'équilibrage des efforts de soulèvement.

4.3.4.4 Vérification des assemblages entre panneaux adjacents

Lorsque l'on se place dans la configuration considérant les liaisons entre panneaux, il est nécessaire de porter une attention particulière à la conception des assemblages entre panneaux adjacents afin d'assurer le transfert entre eux des efforts de cisaillement induits par les efforts de contreventement.

Les assemblages entre panneaux dans un même plan sont décrits au § 2.4.3.

4.3.4.5 Efforts de traction-compression dus au renversement

L'application en tête de mur de la poussée horizontale dans le plan des panneaux génère un moment de renversement (ou basculement) qui doit être vérifié.

Si l'importance du moment de renversement est telle que des forces de traction sont exercées sur un côté, il convient de :

- dimensionner des tirants d'ancrage pour reprendre ces efforts (cf. § 4.3.4.3) ;
- vérifier les efforts de traction et de compression dans les panneaux ;
- vérifier les efforts de compression induits dans le support du panneau (cf. Figure 38)

Le principe du fonctionnement mécanique du mur de contreventement est décrit en Figure 38, avec :

$F_{d,vert}$	charge verticale
M_d	moment de renversement
K_{ax}	rigidité des ressorts de l'ancrage (dépend du type d'ancrage)
K_c	rigidité des ressorts de la zone de compression
L_{eff}	longueur efficace du mur de contreventement
l_{ax}	distance du tirant d'ancrage de l'extrémité du mur
l_z	bras de levier interne
$l_{ef,c}$	largeur de la zone de compression

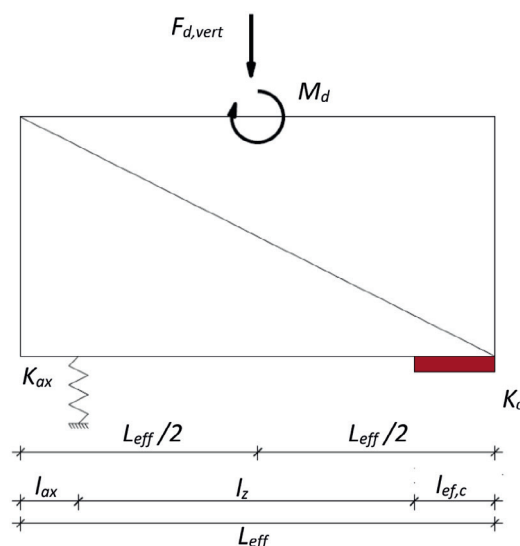


Figure 38 – Moment de renversement – Longueur de la zone de compression

On détermine la longueur $l_{ef,c}$ de la zone de compression suivant :

$$l_{ef,c} = \frac{n_a \cdot R_{ax,d} + F_{d,vert}}{b_{eff} \cdot f_{c,0,i,d}}$$

où :

n_a nombre de tirants d'ancrage

$R_{ax,d}$ résistance à la traction du tirant d'ancrage

b_{eff} largeur effective de la section transversale du mur (= somme des épaisseurs des plis verticaux)

4.3.5 Vérifications aux ELS – Flèches

La vérification à l'ELS se fait selon les Prescriptions Communes décrites aux § 2.5.11 et § 2.7.3.

Les flèches admissibles décrites ci-après sont des valeurs *a minima*. Les AT ou DTA des procédés de revêtement, ou les DPM peuvent fixer des exigences plus sévères.

4.3.5.1 Vérifications flèche instantanée

– w_{inst} ou $w_{Q,inst}$

La flèche instantanée due aux actions variables $w_{Q,inst}$ ne pourra excéder $H/300$ où H est la hauteur d'étage (le cas échéant du bâtiment). La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux structuraux massifs bois.

4.3.5.2 Cas des murs support de revêtement de façade

En situation normale, quelle que soit la combinaison de charges considérée, le déplacement horizontal maximal dans le plan et la flèche maximale en travée des murs supportant un revêtement de façade ne pourront excéder $H/500$ où H est la hauteur d'étage (le cas échéant du bâtiment). La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux structuraux massifs bois.

4.3.5.3 Cas des murs contribuant au contreventement de la structure

En situation normale comme sous sollicitation sismique, quelle que soit la combinaison de charges considérée, le déplacement horizontal maximal dans le plan et la flèche maximale en travée des murs assurant le contreventement ne pourra excéder 1/500 de la hauteur d'étage (et donc de la hauteur totale du bâtiment). La flèche est calculée en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux structuraux massifs bois.

4.3.6 Vérifications des linteaux

On distingue les configurations de linteaux suivantes :

- les linteaux constitués de poutres rapportées en bois ou dérivés du bois et appuyés sur des entailles dans le panneau de mur ;
- les linteaux constitués de pièces rapportées de panneau structural massif bois et appuyés sur des entailles dans le panneau de mur ;
- les linteaux faisant partie intégrante du panneau (linteau résultant de la découpe de l'ouverture dans le panneau).

4.3.6.1 Linteaux constitués de poutres rapportées

Pour les linteaux constitués de poutres rapportées sollicités en flexion dans leur plan, il convient de vérifier la poutre comme simplement appuyée en configuration de flexion sur chant :

- en considérant la section homogène pour une poutre en bois ou dérivé du bois ;
- en considérant les plis horizontaux comme une section homogène en bois massif et en faisant abstraction des plis verticaux pour une pièce de panneau structural massif bois (qui peut être orientée dans un sens comme dans l'autre).

On procède aux vérifications aux ELU et aux ELS d'un élément fléchi à chant conformément à la NF EN 1995-1-1 (poutre en bois ou dérivé du bois) et aux prescriptions communes du § 2.5 (poutre en panneau massif structural massif bois).

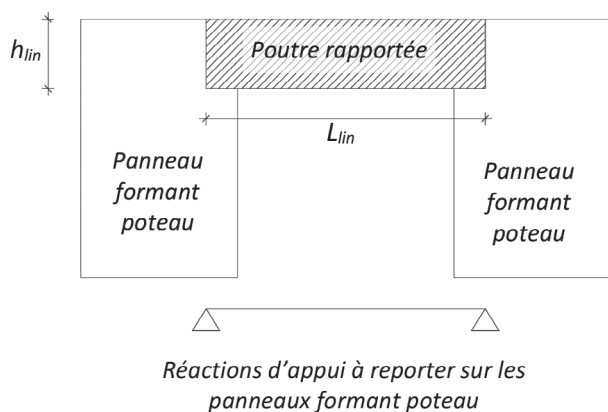


Figure 39 – Linteau constitué de poutre rapportée – Modélisation

On vérifie également les contraintes de compression et le risque de flambement dans les parties d'éléments de mur formant poteau selon les dispositions des § 4.3.3.2 et § 4.3.3.5. La largeur fictive formant poteau peut être déterminée selon la méthode décrite au § 4.3.7 en considérant la charge concentrée induite par la réaction d'appui du linteau. En outre, pour une pièce rapportée de panneau structural massif bois formant linteau :

- on vérifie les contraintes de compression transversale sur appui selon les dispositions du § 3.3.3 ;
- on s'assure que les plis horizontaux (travaillants) du linteau coïncident avec les plis verticaux (travaillants) du mur formant poteau.

4.3.6.2 Linteaux faisant partie intégrante du panneau

Pour un linteau faisant partie intégrante du panneau de mur, on le modélise :

- par une poutre encastrée à ses extrémités lorsque la hauteur du linteau est inférieure à la largeur des bandes de murs formant poteaux ;
- comme une poutre simplement appuyée (linteau constitué d'une pièce rapportée, cf. § 4.3.6.1), dans le cas contraire.

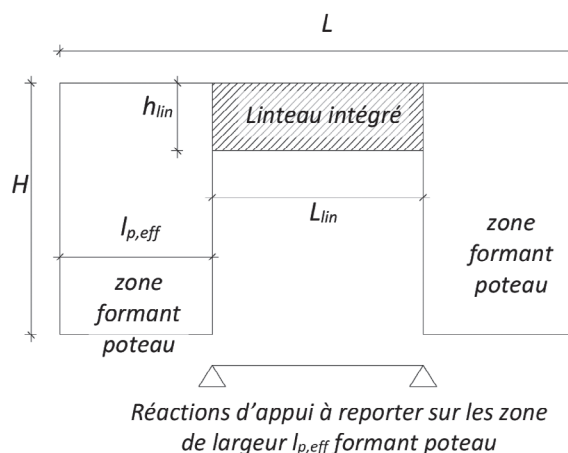


Figure 40 – Linteau faisant partie intégrante du panneau – Modélisation

Lorsque la condition d'encastrement est vérifiée, la réaction d'appui et le moment d'encastrement du linteau doivent être transmis à la paroi de mur par l'intermédiaire de la surface de collage.

La réaction d'appui génère des contraintes de cisaillement verticales.

Le moment de flexion génère des contraintes de cisaillement en torsion.

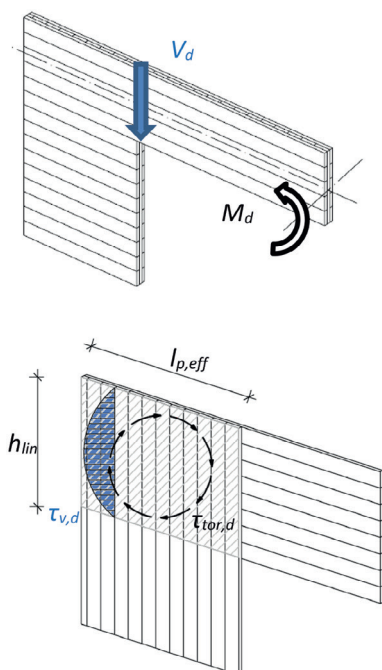


Figure 41 – Linéau faisant partie intégrante du panneau – Efforts transmis au panneau

La contrainte de cisaillement totale de la zone formant poteau $\tau_{p,d}$ ainsi obtenue est :

$$\tau_{p,d} = \frac{1}{n} \cdot (\tau_{v,d} + \tau_{tor,d}) = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{1,5 \cdot V_d}{A_{v,eff}} + \frac{M_d}{W_{p,eff}} \right)$$

où :

- n_a nombre de plans de collage
- V_d effort tranchant à l'appui de linéau
- M_d moment d'encastrement
- $l_{p,eff}$ longueur d'appui fictive du linéau dans le panneau
- h_{lin} hauteur du linéau
- $A_{v,eff}$ surface cisailée par le linéau :
 $A_{v,eff} = l_{p,eff} \cdot h_{lin}$

$W_{p,eff}$ inertie polaire du plan de collage cisailé :

$$W_{p,eff} = \frac{l_{p,eff} \cdot h_{lin}^2 + l_{p,eff}^2 \cdot h_{lin}}{6}$$

La longueur d'appui fictive $l_{p,eff}$ de la zone formant poteau peut être déterminée en substituant $A_{v,eff}$ et $W_{p,eff}$ dans l'inéquation de vérification du cisaillement total :

$$\tau_{p,d} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{1,5 \cdot V_d}{A_{v,eff}} + \frac{M_d}{W_{p,eff}} \right) \leq f_{v,tor,node,d}$$

puis en la transformant en égalité et en résolvant en $l_{p,eff}$:

$$l_{p,eff} = \frac{1}{4 \cdot n_a \cdot f_{v,tor,node,d} \cdot h_{lin}} \cdot \left[3 \cdot V_d - 2 \cdot n_a \cdot f_{v,tor,node,d} \cdot h_{lin}^2 + \sqrt{96 \cdot n_a \cdot f_{v,tor,node,d} \cdot h_{lin} \cdot M_d + 9 \cdot V_d^2 + 12 \cdot n_a \cdot f_{v,tor,node,d} \cdot h_{lin}^2 \cdot V_d + 4 \cdot n_a^2 \cdot f_{v,tor,node,d}^2 \cdot h_{lin}^4} \right]$$

sans que $l_{p,eff}$ ne soit inférieur à la largeur d'une planche verticale.

On vérifie alors les contraintes de compression et le risque de flambement dans les parties d'éléments de mur formant poteau de largeur $l_{p,eff}$ selon les dispositions des § 4.3.3.2 et § 4.3.3.5.

4.3.6.3 Dispositions spécifiques aux linéaux en panneau massif cloué

Lorsque le linéau est formé d'un panneau massif cloué, il convient en outre de vérifier l'effort de cisaillement induit par le chargement vertical du linéau que doit reprendre chaque pointe du plan de croisement des planches.

Les dispositions du § 2.7.2.2, sont alors adaptées comme suit.

Cisaillement induit par la charge verticale sur le linéau

La charge verticale appliquée au linéau induit une contrainte de cisaillement τ_{iB} :

$$\tau_{iB} = \frac{V_B}{E I_B \cdot B_u} \cdot E_{edge,mean} \cdot A_{pli} \cdot \sum Z_i$$

où :

- b_u largeur du panneau unitaire (1 m)
- A_{pli} section d'un pli
- $E I_B$ tel que défini au § 2.7.1.1

On considère que la charge verticale appliquée au linéau induit des moments identiques sur chaque plan de croisement des planches tel que :

$$M_p = \frac{\tau_{iB} \cdot b_{lin} \cdot b_H \cdot b_V}{\sum K_{p,i}} \cdot K_{p,i} = \frac{\tau_{iB} \cdot b_{lin} \cdot b_H \cdot b_V}{n - 1}$$

où :

- b_{lin} largeur (épaisseur) du linéau
- b_H largeur des planches horizontales
- b_V largeur des planches verticales
- n nombre de plis du panneau
- $K_{p,i}$ raideur rotationnelle des assemblages par plan de croisement des planches (§ 2.7.1.2)

On détermine alors l'effort de cisaillement $N_{n,d}$ dû au chargement vertical que doit reprendre chaque pointe du plan de croisement des planches suivant :

$$N_{n,d} = \frac{M_p}{\sum_{i=1}^{n_p} r_i}$$

où :

- r_i la distance entre la pointe i et le centre du plan de croisement des planches
- n_p nombre de pointes par plan de croisement des planches (entre 2 et 4)

Finalement on vérifie :

$$N_{n,d} \leq F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M}$$

4.3.7 Distribution des charges concentrées dans les éléments de mur

La distribution d'une charge concentrée d'une largeur d'application w peut être déterminée en calculant la largeur efficace $w_{ef(H/2)}$ à mi-hauteur et $w_{ef(H)}$ en pied de mur comme suit.

On distingue les configurations de charge concentrées suivantes, illustrées en Figure 42 :

Pour un panneau sur appui continu :

- (a) Charge concentrée à l'extrémité d'un mur
- (b) Charge concentrée en plein mur
- (c) Charges concentrées dont les largeurs efficaces respectives en pied de mur sont en recouvrement
- (d) Charge concentrée sans distribution ($w \approx H$)

Pour un panneau sur appui discontinu :

- (e) Charges concentrées en opposition en tête et pied de mur (transfert de charge) – en plein mur
- (f) Charges concentrées en opposition en tête et pied de mur (transfert de charge) – à l'extrémité d'un mur

Pour une charge concentrée à l'extrémité d'un mur :

- La largeur efficace à mi-hauteur $b_{ef(H/2)}$ peut être calculée suivant :

$$b_{ef(H/2)} = 0,90 \cdot b_{ef(H/2)}^*$$

- La largeur efficace en pied de mur $b_{ef(H)}$ peut être calculée suivant :

$$b_{ef(H)} = \min \left\{ \begin{array}{l} (0,50 \cdot \xi^2 - 0,90 \cdot \xi + 1,30) \cdot b_{ef(H/2)}^* \\ 0,90 \cdot b_{ef(H/2)}^* \end{array} \right.$$

Pour une charge concentrée en plein mur

- La largeur efficace à mi-hauteur $b_{ef(H/2)}$ peut être calculée suivant :

$$b_{ef(H/2)} = 0,90 \cdot \xi^{0,25} \cdot b_{ef(H/2)}^*$$

- La largeur efficace en pied de mur $b_{ef(H)}$ peut être calculée suivant :

$$b_{ef(H)} = \min \left\{ \begin{array}{l} (-0,45 \cdot \xi^2 + 0,85 \cdot \xi + 0,50) \cdot b_{ef(H/2)}^* \\ 0,90 \cdot \xi^{0,25} \cdot b_{ef(H/2)}^* \end{array} \right.$$

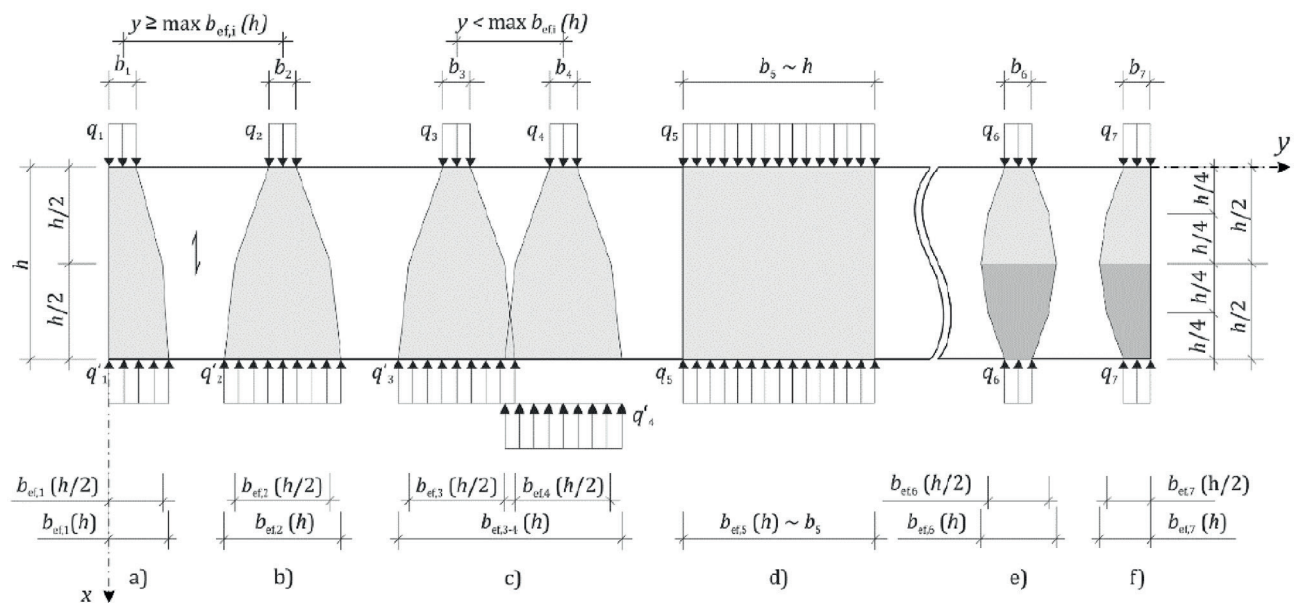


Figure 42 – Distribution des charges concentrées dans les éléments de mur sur appui continu (a, b, c, d) ou discontinu (e, f)

où :

$$\xi = \frac{b}{H}$$

et :

$$b_{ef(H/2)}^* = \frac{\frac{b}{2} \cdot \pi \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1 \cdot \operatorname{atan}\left(\frac{b}{\lambda_2 \cdot H}\right) - \lambda_2 \cdot \operatorname{atan}\left(\frac{b}{\lambda_1 \cdot H}\right)}$$

avec :

$$\lambda_1 = \sqrt{\rho^2 + \sqrt{\rho^4 - q^4}} \quad \text{et} \quad \lambda_2 = \sqrt{\rho^2 - \sqrt{\rho^4 - q^4}}$$

où :

$$\rho = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{E_{x,mean}}{G_{xy,mean}} \cdot \frac{t_x}{t_{xlam}}} \quad \text{et} \quad q = \sqrt[4]{\frac{t_x}{t_y}}$$

avec :

$E_{x,mean}$ module d'élasticité moyen du pli dans la direction x

$G_{xy,mean}$ module de cisaillement efficace dans le plan

H hauteur du mur

t_x épaisseur du pli dans la direction x

t_y épaisseur du pli dans la direction y

t_{xlam} épaisseur totale du mur

b largeur d'application de la charge concentrée

$b_{ef(H/2)}^*$ largeur fictive à mi-hauteur

$b_{ef(H/2)}$ largeur efficace à mi-hauteur

$b_{ef(H)}$ largeur efficace en pied de mur

ξ rapport de la largeur d'application de la charge concentrée sur la hauteur du mur

Note : Les indices de direction x et y dans la présente section correspondent au repère défini dans la Figure 42 et non à la définition du § 1.1.2 utilisée ailleurs dans le présent document.

La contrainte sous charge concentrée q_i peut alors être déterminée selon :

$$\sigma_{(H/2)} = \frac{w_i \cdot q_i}{w_{ef(H/2),i} \cdot t_{xlam}} \quad \text{et} \quad \sigma_{(H)} = \frac{w_i \cdot q_i}{w_{ef(H),i} \cdot t_{xlam}}$$

pour $x = H$ ou $x = H/2$

5. Dispositions relatives aux ouvrages en panneaux structuraux massifs bois

5.1 Généralités

Le présent chapitre complète les Prescriptions Communes décrites au § 2 par les règles de conception, de calcul et de mise en œuvre spécifiques de plancher ou de mur en panneaux structuraux massifs bois contribuant au contreventement global de l'ouvrage et/ou soumis aux sollicitations sismiques.

5.1.1 Application des règles de calcul

Le dimensionnement des panneaux structuraux massifs bois en tant que composant de plancher se fait suivant la NF EN1995-1-1 et son Annexe Nationale.

Les justifications sismiques doivent être réalisées selon la réglementation en vigueur. Au moment de la rédaction du présent document, la réglementation pour les bâtiments repose sur l'Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » et ses modificatifs. Celui-ci définit dans son article 4 les référentiels de dimensionnement autorisés. Pour les panneaux massifs structuraux bois ce sont les suivants :

- NF EN 1998-1 et son annexe nationale (Eurocode 8) ;
- Les ETE.

Le présent document reste donc informatif et ne prévaut pas sur les documents précités.

5.2 Dispositions relatives au contreventement global

5.2.1 Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontale

5.2.1.1 Principes

La structure de plancher en panneaux structuraux massifs bois participe au contreventement global du bâtiment par sa fonction de diaphragme.

Le fonctionnement en diaphragme des planchers assure la répartition des efforts horizontaux (vent, poussée des terres, séisme, etc.) entre les éléments de contreventement (voiles, portiques). Pour cela, le plancher diaphragme doit avoir une rigidité suffisante afin que la déformabilité de cisaillement soit négligeable par rapport aux déplacements horizontaux des éléments porteurs.

L'analyse peut être menée en considérant le comportement du plancher comme celui d'une poutre horizontale plate, proche du mécanisme de poutre en treillis.

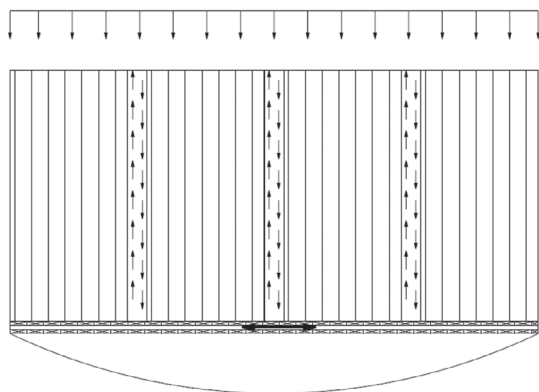


Figure 43 – Schématisation du diaphragme de plancher

Pour un plancher en panneaux structuraux massifs bois, le diaphragme de plancher se compose de plusieurs panneaux connectés entre eux sur toute leur longueur. Les efforts de cisaillement dus aux efforts horizontaux sont transmis par les assemblages entre panneaux dans un même plan décrits au § 2.4.3.

Le calcul des efforts internes du diaphragme permet de dimensionner les assemblages de panneaux entre eux dans le plan du plancher.

Par ailleurs, l'effort horizontal, parallèle au sens de portée des panneaux structuraux massifs bois, induit une flexion du diaphragme qui tend à solliciter en traction les assemblages entre panneaux situés sur la face de la poutre opposée à l'action.

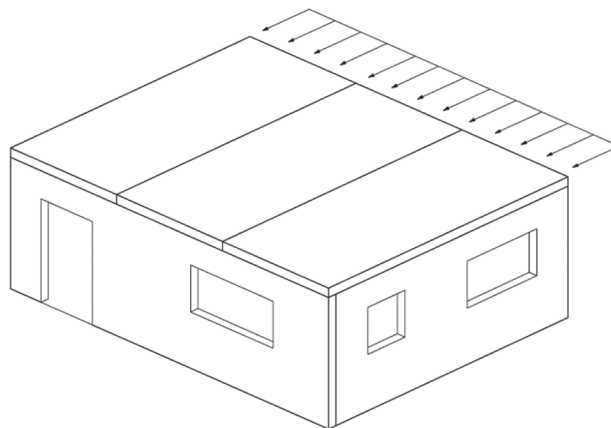


Figure 44 Diaphragme de plancher : Effort de traction induit sur les joints entre panneaux

Les organes d'assemblages entre panneaux de plancher peuvent donc être sollicités à la fois en cisaillement parallèle au joint et en cisaillement transversal (induit par l'effort de traction).

L'assemblage des éléments de plancher aux murs doit permettre de transmettre les efforts de cisaillement en rive.

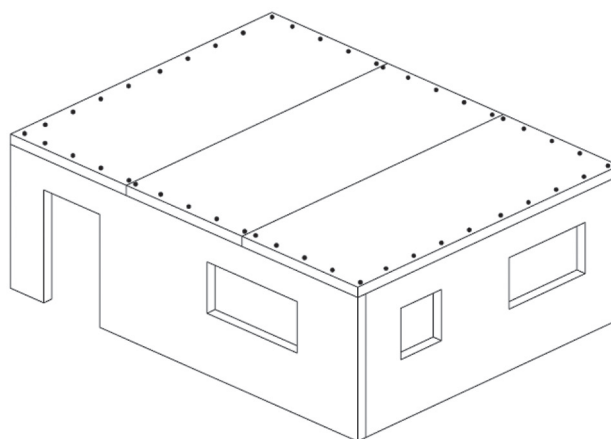


Figure 45 – Diaphragme de plancher : Fixation en rive

Il convient de vérifier :

- la capacité des plis des éléments de plancher parallèles à l'axe de l'effort horizontal en traction et compression ;
- la capacité des vis à transférer les efforts aux panneaux adjacents (efforts de cisaillement sur l'assemblage entre panneaux dans un même plan) ;

- le dimensionnement du tirant en bord de plancher (pièce rapporté ou joints renforcés) ;
- la résistance des liaisons des éléments de plancher aux murs porteurs.

5.2.1.2 Continuité de la transmission des efforts horizontaux (chaînage)

Dans le cas de planchers reposant sur des murs composés de plusieurs panneaux, il est nécessaire de vérifier et d'assurer la continuité de la transmission des efforts horizontaux entre panneaux de plancher et panneaux de mur.

Il convient d'éviter qu'un joint de panneaux de plancher coïncide avec un joint de panneau de mur.

Dans le sens (porteur) parallèle au panneau de plancher, ce dernier, lorsque sa longueur est supérieure à celle des panneaux de murs qui le supportent, permet d'assurer la continuité par le biais de sa seule fixation en rive, et seules les éventuelles discontinuités entre panneaux de plancher adjacents bout à bout nécessitent d'être traitées.

Dans le sens perpendiculaire aux panneaux de plancher, chaque joint de panneau est une discontinuité qu'il convient de vérifier et le cas échéant de traiter.

La discontinuité peut être traitée par des pièces de chaînage telles que :

- plaques métalliques perforées fixées au moyen d'organes de fixation de type tige, ces plaques pouvant être ponctuelles (une plaque à chaque joint entre panneau) ou linéiques (une même plaque couvre plusieurs joints de panneaux) ;
- muraillères en bois, lamellé-collé ou lamibois (LVL) fixées côté intérieur, de longueur adaptée permettant de recouvrir un ou plusieurs joints de panneaux ;
- ceinture en bois, lamellé-collé, lamibois (LVL) ou panneaux à base de bois fixées côté extérieur, de longueur adaptée permettant de recouvrir un ou plusieurs joints de panneaux.

Note : D'autres solutions de chaînage sont possibles. Elles doivent faire l'objet d'une vérification au cas par cas. Notamment, l'assemblage de panneaux de plancher à mi-bois (§ 2.4.3.4) peut s'avérer suffisant dans le cas d'efforts peu importants (p.ex. maison individuelle).

Il convient d'éviter qu'un joint de pièce de chaînage coïncide avec un quelconque joint de panneau (de mur ou de plancher).

Dans tous les cas il convient de vérifier individuellement la résistance des liaisons entre :

- les éléments de plancher et éléments de mur assemblés ;
- les pièces de continuité (chaînage) et les panneaux qu'elles contribuent à lier.

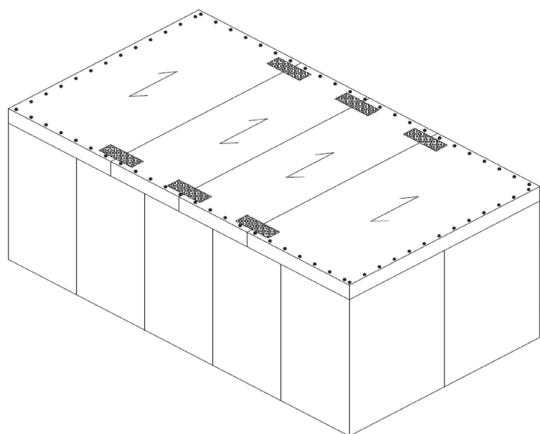


Figure 46 – Exemple de chaînage par plaque métallique perforée

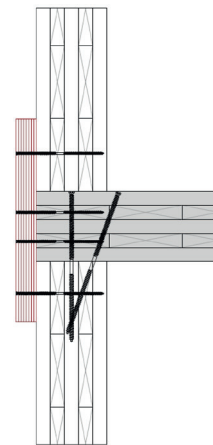


Figure 47 – Exemple de chaînage par ceinture extérieure en lamibois

5.2.2 Contribution au contreventement de la structure des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales

Par analogie avec les diaphragmes de murs décrits dans la NF EN 1995-1-1, seuls les éléments de mur dont les dimensions respectent le critère $l > h/4$ (avec l et h respectivement largeur et hauteur du mur) peuvent être utilisés pour le contreventement.

Seuls les éléments de mur dont le déplacement horizontal maximal dans le plan et la flèche maximale en travée ne dépassent pas $1/500$ de la hauteur d'étage (et donc de la hauteur totale du bâtiment) peuvent assurer le contreventement de la structure.

En outre, pour les panneaux massifs cloués, seuls les panneaux de 5 plis au moins peuvent assurer le contreventement de la structure.

5.3 Dispositions relatives au dimensionnement en zone sismique

5.3.1 Mode de calcul

5.3.1.1 Principes généraux

La justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux doit être menée en suivant le principe de comportement de structure soit dissipatif (Classe de ductilité M) soit faiblement dissipatif (Classe de ductilité L) conformément à la norme NF EN 1998-1-1. Les effets des actions sont calculés sur la base de la méthode des forces latérales équivalentes ou de la réponse modale définies au § 4.3.3.1 de la norme NF EN 1998-1-1.

Les critères de régularité en plan et en élévation de la norme NF EN 1998-1-1 doivent faire l'objet d'une vérification.

Les bâtiments non-réguliers en élévation sont admis, en menant les justifications avec un coefficient de comportement abaissé de 20 % et en déterminant les effets des actions sur la base d'une analyse modale.

Les coefficients de modification k_{mod} correspondant à une classe de durée de chargement instantanée sont appliqués.

Le coefficient partiel γ_M pris en compte dépend du principe de comportement de la structure :

- pour le comportement faiblement dissipatif (DCL) on conserve les coefficients relatifs aux combinaisons fondamentales ;

- pour le comportement dissipatif (DCM) on peut appliquer $\gamma_M = 1,0$.

Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les panneaux utilisés en plancher doivent être organisés afin de vérifier les points suivants :

- l'intégrité de la structure lors d'un séisme ;
- la fonction tirant-buton horizontal, assurée uniquement par les plis orientés dans le sens de l'effort à reprendre. La valeur de l'effort tirant-buton doit être déterminée par une étude sismique spécifique. Cet effort sera pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes : 15 kN/ml ou l'effort de tirant-buton déterminé par calcul ;
- la fonction diaphragme horizontal avec justification des jonctions entre panneaux adjacents pour les efforts de cisaillement induits.

La justification des panneaux utilisés en murs de contreventement en zone sismique doit être effectuée en :

- menant les vérifications précisées aux § 2.5, § 2.8 et § 4.3 du présent document ;
- réalisant la fixation des panneaux au soubassement béton :
 - soit par des tiges d'ancrage et/ou bûches, le dimensionnement étant réalisé selon les dispositions de la NF EN 1993-1-8 pour les boulons d'ancrage tendus ;
 - soit par des chevilles bénéficiant d'une ETE visant une utilisation en béton fissuré et sous sollicitation sismique (catégorie C2), le dimensionnement tenant compte des dispositions spécifiques de l'ETE pour cet usage ; on considère en outre un diagramme d'interaction linéaire pour justifier les chevilles sous charges combinées de traction et de cisaillement.

Note : Il est fréquent que l'ETE de la cheville limite la capacité résistante en cisaillement de ces chevilles à la moitié de celle indiquée sous sollicitation statique.

5.3.1.2 Principe de dimensionnement en comportement de structure faiblement dissipatif (DCL)

Le spectre de calcul est déterminé en appliquant un coefficient de comportement ne pouvant excéder $q = 1,5$ pour les panneaux de type CLT et les panneaux massifs cloués.

En zone sismique, les différents organes d'assemblages doivent dissiper l'énergie et conférer de la ductilité à la structure, à l'exception des ancrages. Ainsi, la rupture doit être orientée dans ces organes et non pas dans les panneaux dont la rupture en cisaillement est considérée fragile.

Ces organes jouent alors le rôle de dissipateur de la structure. La conception des assemblages est réalisée suivant les prescriptions de la NF EN 1995-1-1 et son amendement A1. Il convient de s'assurer que le mode de rupture obtenu est celui de la plastification de l'organe d'assemblage.

En outre, les ancrages devront avoir une résistance et une raideur grandes devant celles des autres assemblages pour garantir un bon comportement dissipatif de la structure. Le dimensionnement des ancrages au soubassement béton réalisé en multipliant les actions par 4/3 satisfait à cet objectif.

Note : Ce coefficient (4/3) correspond au coefficient retenu dans les recommandations de la CNC2M concernant la justification des ouvrages en classe de ductilité DCL et DCL+.

5.3.1.3 Principe de dimensionnement en comportement de structure dissipatif (DCM)

Le spectre de calcul est déterminé en appliquant un coefficient de comportement ne pouvant excéder $q = 2,0$ pour les

panneaux de type CLT et $q = 2,5$ pour les panneaux massifs cloués. Les valeurs de coefficient de comportement seront définies au cas par cas dans l'AT ou le DTA correspondant.

La conception de l'ouvrage suivant le principe de comportement de structure dissipatif (DCM) impose de porter la plus grande attention à la conception des assemblages (vis de liaison, équerres, ancrages, etc.) destinés à la dissipation des efforts au regard des efforts de cisaillement engendrés par l'action sismique. A ce titre, il convient :

- de hiérarchiser les zones de rupture dans les organes d'assemblage des panneaux en vérifiant la résistance suffisante des panneaux dont la rupture en cisaillement est considérée fragile ;
- d'exploiter la source de ductilité des organes d'assemblage des ancrages et équerres, la justification de la capacité résistante étant menée suivant les principes la norme NF EN 1995-1-1 en s'assurant que le mode de rupture obtenu est celui de la plastification de l'organe d'assemblage ; les organes de fixation de type broches ne sont pas admis sans disposition complémentaire s'opposant à leur arrachement ; les pointes lisses ne sont pas admises ;
- de s'assurer que les connecteurs tridimensionnels mis en œuvre dans un assemblage destiné à dissiper les efforts satisfassent les critères fixés pour la classe de ductilité M au § 8.3(3)P de la norme NF EN 1998-1-1 :
 - l'AT ou l'ETE précise leur comportement sous sollicitation cyclique, lorsqu'ils relèvent de ce type d'évaluation au sens du § 2.3.3.1 ;
 - ou un rapport d'essai de laboratoire (accrédité ISO 17025) réalisé selon la norme NF EN 12512 démontre un comportement cyclique satisfaisant lorsqu'il s'agit de ferrures mécano-soudées ;
- de s'assurer que le dimensionnement des ancrages de panneaux sera réalisé en appliquant les principes du dimensionnement en capacité de la norme NF EN 1998-1 en considérant un coefficient de sur-résistance pour l'ancrage $\gamma_{rd} = 1,3$ pour les murs formés d'un seul panneau continu et $\gamma_{rd} = 1,6$ pour les murs formés de plusieurs panneaux assemblés par des vis.

Ces dispositions s'appliquent également aux liaisons entre diaphragmes horizontaux et diaphragmes verticaux.

Note : Il résulte de ce qui précède que les seules zones de dissipation à considérer se situent au niveau des liaisons autres que les ancrages et les liaisons externes entre diaphragmes verticaux et horizontaux.

5.3.2 Disposition particulières relatives aux panneaux massifs cloués

Étant donné le caractère ductile des panneaux massifs cloués, particulièrement ceux de faible épaisseur, on accordera un soin particulier aux vérifications de sécurité sous sollicitation sismique, notamment :

- La prise en compte du coefficient de comportement dans le calcul des déformations
- La vérification de prise en compte des effets du second ordre selon la norme NF EN 1998-1 § 4.4.2.2.
- La vérification de limitation des déplacements entre étages dans le cadre de la limitation de dommage aux éléments de second œuvre selon la norme NF EN 1998-1 § 4.4.3.
- La prise en compte des effets de torsion induits par les irrégularités en plan du bâtiment

À cet effet, on vérifiera notamment que le déplacement en entre étages d_r , calculé à partir du déplacement en tête de mur w_H selon § 2.7.3.2, satisfait aux critères suivants :

- pour les bâtiments ayant des éléments non structuraux composés de matériaux fragiles fixés à la structure :

$$v \cdot d_r \leq \frac{H}{200}$$

- les bâtiments ayant des éléments non structuraux ductiles :

$$v \cdot d_r \leq \frac{H}{133}$$

- pour les bâtiments ayant des éléments non structuraux fixes de manière à ne pas interférer avec les déformations de la structure ou n'ayant pas d'éléments non structuraux :

$$v \cdot d_r \leq \frac{H}{100}$$

où :

v est un coefficient de réduction : $v = 0,4$ pour les bâtiments de catégorie d'importance 3 et 4 ; $v = 0,5$ pour les bâtiments de catégorie d'importance 1 et 2.

Pour pouvoir négliger les effets de second ordre, on vérifie en outre :

$$\theta = \frac{F_{d,vert} \cdot d_r}{V_{d,horiz} \cdot H} \leq 0,10$$

où :

$F_{d,vert}$ charge verticale

$V_{d,horiz}$ effort sismique

5.3.3 Exemples de dispositions constructives

Les dispositions constructives proposées ci-après sont destinées à assurer le transfert des efforts du niveau supérieur au niveau inférieur. Le présent document fait l'hypothèse d'une séparation des rôles entre :

- les équerres destinées à reprendre les efforts de cisaillement et à les transférer au plancher ;
- les ancrages ou les plaques destinés à reprendre les efforts de soulèvement.

Les essais réalisés au moment de la rédaction du présent document montrent clairement que le soulèvement est le point critique amenant la ruine. Les meilleures performances (résistance et ductilité) sont obtenues en assurant un transfert vertical très performant et en dimensionnant les équerres de manière à obtenir la plastification au niveau des vis sous effort horizontal.

Les trois exemples ci-après sont envisageables pour reprendre les efforts verticaux :

- L'utilisation d'une plaque continue en façade ;
- la plaque en façade peut être complétée par des ancrages côté intérieur ;
- des ancrages seuls peuvent être utilisés lorsqu'ils sont reliés verticalement.

Les équerres doivent être suffisamment nombreuses pour reprendre la totalité des efforts de cisaillement en pied de paroi verticale ainsi que les efforts provenant du diaphragme s'il y a lieu. L'utilisation d'un minimum de deux équerres avec 6 organes de fixation chacune pour chaque panneau quel que soit sa longueur contribue à la ductilité d'ensemble.

Les équerres et ancrages doivent être dimensionnés de manière à ce que la rupture se produise en premier lieu dans les organes de fixation des parties verticales des connecteurs. Le mode de rupture des organes de fixation doit également être ductile.

6. Transport, stockage & manutention

6.1 Transport

Les panneaux structuraux massifs bois ne doivent subir aucun dommage ou détérioration durant le transport. Des procédures devront être mises en place afin de :

- faciliter les phases de chargement et de déchargement,
- garantir la stabilité du chargement durant le transport, et,
- garantir la sécurité des personnes prenant part à ces phases.

Les panneaux sont livrés sur le chantier par transport routier prêts à être mise en œuvre à l'aide d'une grue.

6.2 Stockage sur chantier

Le taux d'humidité moyen des panneaux sortant d'usine est de 12 ± 2 %. L'entreprise en charge des travaux doit prendre les dispositions nécessaires sur chantier afin de prévenir des reprises d'humidité trop importantes.

Après réception, lorsque leur mise en œuvre immédiate n'est pas possible, les panneaux structuraux massifs bois sont entreposés temporairement sur une aire de stockage dédiée, dans le respect des dispositions suivantes :

- La zone de stockage doit être plane et sans obstacles environnants.
- Le stockage vertical des éléments est recommandé.
- Le stockage doit être établi de façon à ce que les panneaux ne soient pas en contact direct avec le sol et de sorte que rien n'entrave la circulation de l'air.
- Une protection contre les intempéries (p.ex. écran pare-pluie respirant) est indispensable, afin d'éviter les salissures et les reprises d'humidité, en portant une attention particulière à l'épaisseur des panneaux stockés verticalement.
- Lors d'un stockage de longue durée, les protections mises en place doivent permettre une ventilation suffisante de manière à empêcher, notamment, les phénomènes de condensation.

En outre, prévoir un espace de stockage suffisant permet de trier les éléments plus facilement et ainsi gagner du temps de chantier.

Il peut être nécessaire de protéger les panneaux des U.V. lorsque ceux-ci sont destinés à une utilisation avec une face visible. Il est alors indispensable de prévoir sur les panneaux une protection contre le rayonnement solaire (p.ex. écran pare-pluie respirant opaque), pose en usine ou immédiatement après le déchargement (moins de 5 minutes en général).

6.3 Phase de mise en œuvre

Avant le levage des panneaux structuraux massifs bois pour leur positionnement dans l'ouvrage, il convient de :

- vérifier les tolérances d'exécution du support ;
- vérifier les éléments clés du protocole de montage, notamment la visibilité du poids des panneaux, les points de levage et la capacité des moyens de levage ;
- s'assurer de la présence et de la bonne disposition des éléments participant à l'étanchéité à l'eau (provisoire et ou définitive) et à l'air entre le support et les panneaux (bande anti capillarité, joints de calfeutrement, etc.).

6.3.1 Prévention des accidents et maîtrise des risques lors de la mise en œuvre et de l'entretien

La sécurité du travail sur chantier peut être normalement assurée, en ce qui concerne le procédé de panneaux structuraux massifs bois proprement dit, moyennant les précautions habituelles à prendre pour la manutention d'éléments préfabriqués de grandes dimensions.

D'une manière générale, et quelle que soit la fonction des panneaux dans l'ouvrage, la mise en œuvre de ceux-ci impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur.

Compte tenu de ce que les panneaux offrent des surfaces de prise au vent importantes lors de leur manutention, il est impératif d'une part de recourir aux précautions habituelles relatives à la manutention des éléments de grande dimension, d'autre part de cesser la mise en œuvre lorsque la vitesse du vent empêche la manutention aisée par deux personnes.

On veillera en outre au respect des dispositions relatives à la manutention, à la stabilité provisoire et au montage décrites ci-après.

6.3.2 Stabilité provisoire

Lors des phases provisoires, et tant que l'ensemble des éléments nécessaires au contreventement définitif de l'ouvrage ne sont pas mis en œuvre, la stabilité des panneaux, en position verticale ou horizontale, doit être assurée au moyen d'un étalement garantissant la stabilité particulière de chaque élément et la stabilité générale du bâtiment en cours de construction.

6.3.3 Manutention

Un protocole de montage doit être établi, qui précise au cas par cas les modes de manutention et les points de levage (type, nombre, résistance), ainsi que les dispositifs permettant d'assurer la stabilité provisoire des panneaux levés. Ces éléments seront clairement identifiés sur les panneaux livrés sur chantier.

Les points de levage peuvent être des sangles, des crochets, des plaques ou tout autre moyen d'attache permettant d'assurer la sécurité nécessaire lors de la manutention.

Le poids de chaque élément et leur position dans le transport doivent être pris en compte avant de définir le dimensionnement et l'implantation des points d'ancrage pour le levage.

Pour le levage, les murs sont généralement munis de deux points d'ancrage tandis que les planchers en ont quatre. Un nombre supérieur de points d'ancrage peut être défini par le concepteur et/ou le fabricant.

Il est également indispensable d'adapter les moyens de levage aux solutions de levage retenues. Les outils de manutention sont dimensionnés par leur fabricant respectif. Il convient de se reporter à la documentation technique de

chaque fabricant pour s'assurer que la chaîne de manutention peut supporter les charges induites par les panneaux structuraux massifs bois. Cette chaîne comprend usuellement :

- une grue mobile ou à tour ;
- des élingues textiles ou métalliques avec leurs crochets et leurs anneaux ;
- les anneaux de levage.

Les anneaux de levage doivent être reliés au panneau à manutentionner moyennant un dispositif de fixation. Ce dispositif doit être dimensionné comme tous les assemblages suivant la NF EN 1995-1-1.

Une attention particulière doit être portée à la manutention des panneaux destinés à la réalisation de murs munis d'ouvertures et transportés tels quels. Dans le cas où la phase de manutention génère des efforts nettement supérieurs à ceux subis par le panneau mis en œuvre dans l'ouvrage, les points d'attaches conçus et prescrits par le concepteur et/ou le fabricant doivent être respectés sur chantier.

6.3.4 Dispositions complémentaires relatives au montage

6.3.4.1 Dispositions relatives aux supports/tolérances

La planéité des fondations du bâtiment doit être vérifiée avant la date du montage et, le cas échéant corrigé par calage (voir notamment les dispositions du § 2.4.1 et § 2.4.2).

Pour la construction par étages successifs, les chants supérieurs des panneaux verticaux doivent constituer un support plan (+/- 1 mm/10 m) sur lequel sont vissés les panneaux de plancher.

6.3.4.2 Protection en phase chantier

Au même titre que pour le stockage sur chantier, l'entreprise en charge des travaux doit prendre les dispositions nécessaires sur chantier afin de prévenir des reprises d'humidité trop importantes après la pose, en attendant la mise hors d'eau de la structure en panneaux structuraux massifs bois.

Les reprises d'humidité pourront être limitées à titre d'exemple par la mise en œuvre de toiles ajourées adaptées et fixées aux échafaudages ou par la mise en place d'une membrane de type pare-pluie, frein vapeur ou pare vapeur sur la face extérieure du panneau.

Il convient également de veiller à protéger les points singuliers.

Pour les murs, les points singuliers à protéger sont les parties horizontales telles que les têtes de mur et les têtes d'allège.

Pour les planchers, il convient de protéger les nez de dalle et de disposer une étanchéité provisoire qui couvre la surface des planchers. Cette étanchéité est soit aérienne, réalisée à l'aide de bâches sur structure en élévation pour éviter son poinçonnement lorsque les ouvriers circulent sur les planchers, soit posée directement sur le panneau structural massif bois, réalisée avec un écran pare-pluie respirant dont la maintenance devra être régulièrement assurée. Il convient également de chasser toute stagnation d'eau.

ANNEXE A

Méthodes d'Évaluation Spécifiques

Méthode d'évaluation des pointes pour panneaux cloués :

Les essais et les calculs doivent être réalisés selon les normes suivantes :

- NF EN 1380 : Structures en bois – Méthode d'essais – Pointes, ture-fonds, broches et boulons porteurs (avec des échantillons type « Figure 2 – Exemple d'assemblage à trois éléments en bois avec des organes d'assemblage de type tige à pénétration incomplète en double cisaillement et avec l'emplacement des points de prise de déplacement »
(cf. Figure 48) ;
- NF EN 26891 : Structures en bois – Assemblages réalisés avec des éléments mécaniques de fixation- Principes généraux pour la détermination des caractéristiques de résistance et de déformation ;
- NF EN 14358 : Structures en bois – Détermination des valeurs correspondant au fractile à 5 % d'exclusion inférieure et critères d'acceptation pour un échantillon.
- Avec détermination des valeurs de résistance au cisaillement (F_v, R_k) et du module de glissement (K_{ser}) des organes de fixation.

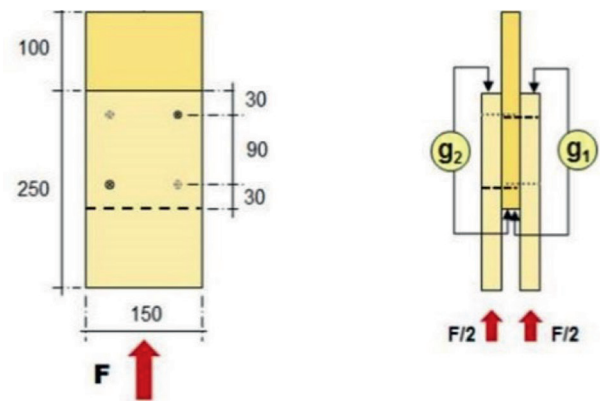


Figure 48 – Dispositif d'essai de caractérisation des organes d'assemblage de panneaux massifs cloués

ANNEXE B

Contrôle de Production en Usine

Contrôle de Production en Usine des panneaux CLT non marqués ce sous système d'Evcp de niveau 1

Le contrôle de production en usine des panneaux de type CLT ne relevant pas de l'EN 16351 reprend les principes du CPU décrit dans l'EN 16351 et est complété par les dispositions spécifiques relatives au maintien des propriétés mécaniques et physiques des essences ou matériaux à base de bois non listés dans l'EN 16351.

Ces prescriptions sont évaluées et fixées dans le cadre de l'ETE et vérifiées dans le cadre du marquage CE sous système d'EVCP de niveau 1, à défaut dans l'AT ou le DTA.

Le CPU doit faire l'objet d'un contrôle externe par un organisme tiers accepté par le GS, comprenant une évaluation initiale et un suivi régulier.

Contrôle de Production en Usine des panneaux massifs cloués

Contrôle de la fabrication

La fabrication des panneaux massifs cloués est soumise d'une part un contrôle de production en usine et d'autre part à un contrôle externe assuré par un organisme agréé.

Contrôle de production en usine

Contrôle des approvisionnements

Les contrôles avant fabrication sont les suivants :

- Résistance mécanique des bois.
- Humidité des bois.
- Conformité des organes d'assemblage.
- Conformité du profil des lames au cahier des charges.
- Conformité de l'aboutage des lames le cas échéant, selon NF EN 15497.

Contrôle en cours de fabrication

Lors de l'assemblage mécanique des panneaux, les contrôles suivants sont effectués :

- Vérification de l'humidité.
- Vérification de la position des organes et du clouage (pression des cloueurs, ...).
- Classement visuel des planches suivant la norme EN 14081-1.

À la fin de l'usinage, les contrôles suivants sont effectués :

- Dimensions des panneaux : longueur, hauteur et épaisseur.
- Dimensions et positionnement des usinages.
- Traitement.
- Aspect visuel des panneaux.

Contrôle en fin de fabrication

Les contrôles effectués en fin de fabrication portent sur :

- Le marquage des panneaux.
- La qualité du stockage et du chargement lors de l'expédition.
- La qualité des assemblages cloués des panneaux :

Prélèvement sur produit fini (bande verticale en bordure de panneau) afin de réaliser un contrôle dimensionnel sur le positionnement des pointes : vérification effectuée sur 1 prélèvement tous les 500 m² de panneaux avec un minima de 2 prélèvements par chantier.

Pour chaque lot de pointes, vérification de la résistance en cisaillement des pointes par réalisation d'un essai de type « cathédrale » selon la norme NF EN 1380 avec un bois de classe de résistance C18 précisément (bois sélectionné selon la NF EN ISO 8970).

Contrôle externe de la fabrication

Un contrôle externe est réalisé à raison de 3 audits sur 2 ans par un organisme tiers accepté par le GS, comprenant une évaluation initiale et un suivi régulier.

Ce contrôle porte sur l'examen du respect des dispositions prises par le producteur pour assurer la conformité de ses fabrications (vérification du contrôle interne).

Il comporte également la réalisation d'essais sur des échantillons de fabrication « courante ». Il doit donner lieu à un prélèvement de 5 échantillons de d'assemblage type « cathédrale » (figure 1). La conformité du module de glissement caractéristique et de la résistance caractéristiques en cisaillement des plans de clouage doivent être vérifiés.

SIÈGE SOCIAL

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr

CSTB
le futur en construction

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA ANTIPOLIS